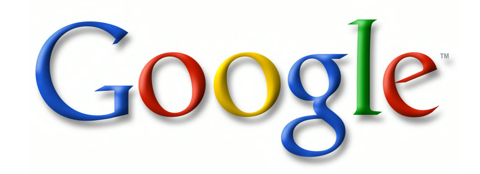


3/11

8/11

ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

EINUNDSIEBZIGSTER BAND.

MIT 4 TAFELN UND 63 TEXTFIGUREN.

BONN, 1898.

VERLAG VON EMIL STRAUSS.

Inhalt.

Erstes und zweites Heft.

Ausgegeben am 16. März 1898.

Drittes und viertes Heft.

Ausgegeben am 25. März 1898.

Seite

Fünftes und sechstes Heft.

Ausgegeben am 12. April 1898.

Siebentes und achtes Heft.

Ausgegeben am 20. April 1898.

Neuntes und zehntes Heft.

Ausgegeben am 4. Mai 1898.

Elftes und zwölftes Heft.

Ausgegeben am 26. Mai 1898.

(Physiologisches Laboratorium in Leyden.)

Eine einfache physiologische Erklärung für verschiedene geometrisch-optische Täuschungen.

Von

W. Einthoven.

(Mit 22 Textfiguren.)

Inhalt:

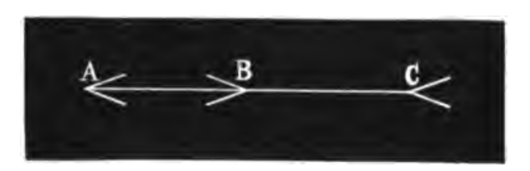
Einleitung.

Die geometrisch-optischen Täuschungen, wobei man zwei gleiche Abstände ungleich, gerade Linien gebrochen, parallele Linien nicht parallel u. s. w. zu sehen glaubt, sind von vielen Forschern untersucht und erklärt worden. Bei nahezu allen bis jetzt gegebenen Erklärungen hat man psychische Erscheinungen in den Vordergrund gestellt. In der Regel ist man jedoch erst dann berechtigt, die Psyche zur Hülfe zu rufen, wenn eine einfache physische oder physiologische Erklärung auf Schwierigkeiten stösst.

Hier möge ein physiologisches Moment erörtert werden, das beim Verursachen der erwähnten optischen Täuschungen wahrscheinlich eine wichtige Rolle spielt, während es doch, für soweit ich aus der ziemlich umfangreichen Literatur in Erfahrung bringen konnte, von keinem der Forscher auf diesem Gebiete erwähnt wird.

Wenn man eine Figur betrachtet, wird davon in einem und demselben Augenblicke nur ein kleiner Theil deutlich wahrgenommen, und zwar derjenige Theil, der im Centrum der Retina abgebildet wird. Die übrigen Punkte und Linien fallen auf die Netzhautperipherie und werden undeutlich gesehen. Lässt man den Blick über die Figur hin- und hergehen, so wird man zwar alle einzelnen Theile hinter einander scharf wahrnehmen können, aber doch auf keine andere Weise, als jedes Mal ein einzelnes Theilchen in einem einzelnen Zeitpunkte. In demselben Zeitpunkte muss man nothwendig die ganze übrige Figur undeutlich sehen. Und weil man sich bei der Ortsbestimmung einer undeutlich wahrgenommenen Figur durch den Schwerpunkt ihres Netzhautbildes führen lässt, wird es möglich, dass Figuren oder Figurtheile von bestimmter Form beim indirecten Sehen verschoben erscheinen. Erläutern wir dies mit einem Beispiele.

Fig. 1.



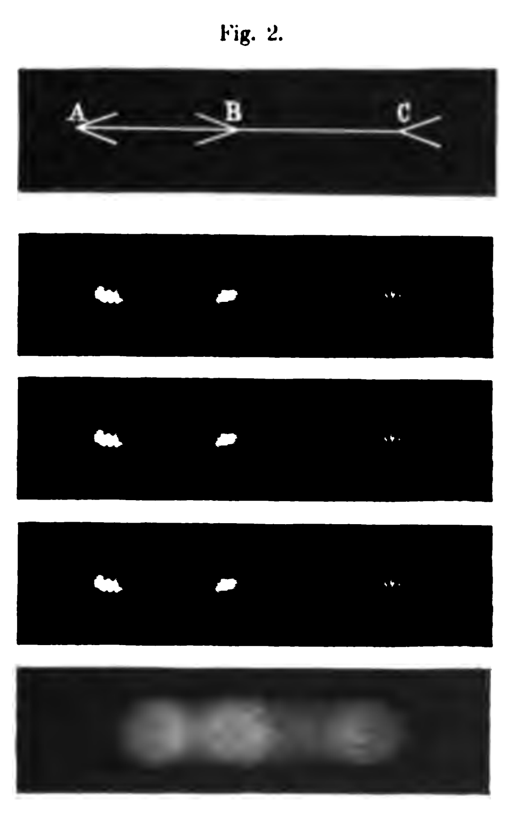
Müller-Lyer'sches Paradoxon.

Im Müller-Lyer'schen Paradoxon, siehe Fig. 1, scheint von den gleich langen Linien AB und BC die letztere die längere zu sein. Fixirt man den Mittelpunkt B, so werden die Enden bei A und C indirect gesehen, also unscharf wahrgenommen. Man projectirt das Ende A dem Schwerpunkte des Netzhautbildes gemäss mehr nach B hin, das Ende C dahingegen mehr von B weg. AB wird also verkürzt, BC verlängert erscheinen. Fixirt man einen andern Punkt, z. B. C, so müssen A und B undeutlich gesehen werden, während dies ebensowohl für B und C zutrifft, sobald man A fixirt, und wohin man auch das Auge richtet, immer muss der Erfolg derselbe bleiben: AB scheinbar BC gegenüber verkürzt.

Der Eindruck, welchen eine unscharf wahrgenommene Figur auf uns machen muss, kann plastisch vorgestellt werden, indem man sie in Zerstreuungskreisen abbildet.

Untenstehende Figur 2 stellt eine Müller-Lyer'sche Zeichnung[1]) dar, welche in allmälig wachsenden Zerstreuungskreisen photographirt ist. Man sieht, wie die optische Täuschung, welche bei der Betrachtung der obersten, scharf abgebildeten Zeichnung zum Vorschein tritt, allmälig zur Wirklichkeit wird. Der Schwerpunkt der Zerstreuungsfigur bei *A* nähert sich in Wirklichkeit dem Schwerpunkt der Zerstreuungsfigur bei *B*, während das ebenfalls in Zerstreuungskreisen abgebildete Ende *C* sich von *B* entfernt.

Fig. 2.



1) Die Anfertigung von Photogrammen einer linearen Zeichnung in Zerstreuungskreisen bietet keine Schwierigkeiten dar. Einige Figuren geben schönere Bilder, wenn sie aus schwarzen Linien auf weissem Grunde bestehen, andere, wenn sie umgekehrt aus weissen Linien auf schwarzem Grunde zusammengesetzt sind. Das muss wohl erklärt werden durch die Verschiedenheit der relativen Empfindlichkeit einer photographischen Platte für Licht von wechselnder Intensität.

Wünscht man eine scharfe lineare Zeichnung behufs eines Auditoriums in Zerstreuungskreisen auf einen Schirm zu projectiren, so trage man dafür Sorge, dass jeder Punkt der Zeichnung eine gleichmässig beleuchtete kreisförmige Zerstreuungsfigur bildet. Ich warf dazu ein scharfes Bild des Lichtbrunnens — des Kraters einer Bogenlampe oder der glühenden Seite eines Kalklichtes — auf ein photographisches Objectiv, mittelst welchem wieder ein scharfes Bild der Zeichnung auf den Schirm projectirt wurde. Nahe am Objectiv befand sich ein Irisdiaphragma, das ein ziemlich gleichmässig beleuchtetes, kreisförmiges Stück aus dem Bilde des Lichtbrunnens schnitt. Um das Bild auf dem Schirme in allmälig wachsenden Zerstreuungskreisen erscheinen zu lassen, wird das Objectiv durch gewöhnliche Linsen aus einer Brillendose verstärkt oder abgeschwächt.

Diese plastische Vorstellung soll aber nicht mit der Erklärung selbst verwechselt werden. Die Erklärung trägt nur der verminderten Sehschärfe in der Netzhautperipherie Rechnung, während die Frage, welchen Ursachen dieselbe zugeschrieben werden muss, noch einer besonderen Untersuchung bedarf.

Als erste Ursache für die erwähnte Verminderung der Sehschärfe muss die geringere Netzhautempfindlichkeit bezeichnet werden, aber zweitens darf man nicht vergessen, dass auch die Bilder selbst in der Netzhautperipherie diffus sind. Und insofern die auf der Netzhaut vorhandenen Zerstreuungskreise zur Erzeugung der optischen Täuschungen beitragen, kommt unsere plastische Vorstellung mit der Wirklichkeit überein[1]).

Verschiedene optische Täuschungen und ihre Erklärung.

Verweilen wir erst noch bei dem Müller-Lyer'schen Paradoxon und den Erklärungen, welche verschiedene Forscher davon gegeben haben.

Nach Müller-Lyer selbst würde die Ursache für eine Anzahl optischer Täuschungen, auch für die nach ihm genannten, in zwei „Trugprincipien", Contrast und Confluxion gelegen sein. Die Contrasterscheinungen auf manchem Gebiete sind schon lange bekannt, wie Contrast zur Folge von Reizen verschiedener Intensität und verschiedener Qualität, und auch Contrast bei Raumempfindungen. „Wenn nun," sagt Müller-Lyer[2]), „zwei psychophysische Processe, die von benachbarten Reizen ausgelöst werden, sich gegenseitig beeinflussen, so lassen sich bezüglich der Art, auf welche sie diesen Einfluss auf einander ausüben, zwei Möglichkeiten denken: indem sie entweder in der gleichen oder aber in der entgegengesetzten Richtung auf einander wirken können." Neben der Möglichkeit für die Erzeugung von Contrast ist also die für die Erzeugung von Confluxion gegeben, und das nach Müller-Lyer genannte Paradoxon wäre einfach ein Beispiel der letzteren.

---

1) Ueber die reelle Bildverschiebung auf der Netzhaut, welche durch Refractionsmangel in Verbindung mit der Stelle des Knotenpunktes und der Pupillenfläche erzeugt wird, siehe die Schlussbetrachtungen.

2) Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. der Sinnesorgane. Bd. 9 S. 3. Siehe auch 2. Artikel Bd. 10 S. 421—431.

Diese Beweisführung, mag sie auch viel Ansprechendes haben, befriedigt jedoch nicht, weil man ja sowohl für die Erzeugung von Contrast wie für Confluxion noch besondere Erklärungen verlangt. Es gibt einige Contrasterscheinungen, welche thatsächlich auf ganz befriedigende Weise zur Aufklärung gelangt sind, wie z. B. der successive Farbencontrast, der weder für die Young-Helmholtz'sche noch für die Hering'sche Farbentheorie Schwierigkeit darbietet. Viele andere Contrasterscheinungen sind aber noch ganz und gar nicht erklärt, und am wenigsten kann man sich begnügen mit dem Versuche, eine grosse Anzahl optischer Täuschungen einfach dem Contraste und der Confluxion zuzuschreiben, wenn dabei ohne irgendwelche nähere Erläuterung entweder das eine oder das andere Moment in den Vordergrund gerückt wird[1]).

Andere Theorieen für die Erklärung der optischen Täuschung sind von Auerbach, Brentano, Lipps, Wundt, Delboeuf und Heymans gegeben worden[2]). Die Auerbach'sche beruht darauf, dass man sich zwischen den Schenkeln der Figur parallel den Vergleichslinien eine Anzahl anderer Linien denkt, welche zur Bestimmung unseres Urtheils über die relative Länge der Vergleichslinien das Ihrige beitragen. Brentano meinte die Erscheinung zu der Ueberschätzung von scharfen Winkeln zurückbringen zu können, aber beide Theorieen sind von Lipps und Heymans genügend widerlegt worden[3]).

Die Theorieen von Lipps, Wundt, Delboeuf und Heymans beruhen alle auf dem Einfluss unwillkürlicher, erzwungener Augenbewegungen, oder — falls diese nicht selbst ausgeführt werden — associirter Bewegungsvorstellungen. Sie sind meiner Meinung nach nicht im Stande, auf einfache und genügende Weise die Resultate vieler Messungen zu erklären, welche von Heymans mit Hülfe von

---

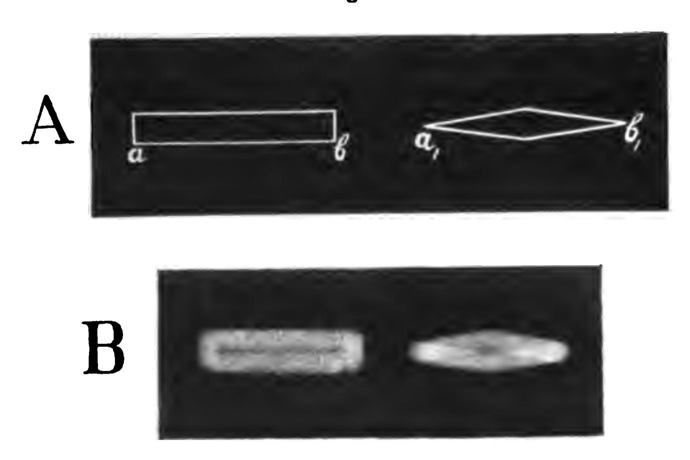
1) Die Worte Müller-Lyer's — a. a. O. Bd. 9 S. 15 —, dass Extensionen, wenn sie parallel laufen, in Confluxion treten, und wenn sie in entgegengesetzter Richtung liegen oder senkrecht zu einander stehen, contrastiren, sind keine Erläuterung, sondern bilden nur den Versuch, die besonderen Umstände anzudeuten, unter welchen das eine Mal Contrast, das andere Mal Confluxion erzeugt wird.

2) Siehe die Literaturangaben in Müller-Lyer a. a. O. Bd. 9 S. 16 und Heymans, Zeitschr. f. Psychol. und Physiol. der Sinnesorgane Bd. 9 S. 221 f.

3) Siehe Heymans a. a. O. S. 236—242.

abgeänderten Müller-Lyer'schen Figuren gemacht worden sind. Anstatt der geraden setzte er Zickzacklinien in die Figur, — nach den Schenkelenden zog er in verschiedener Richtung neue Linien — die Schenkel selbst ersetzte er durch gabelförmige Figuren, durch Kreisbogen, durch Strahlenbündel u. s. w. Namentlich die Paradoxa mit den gabelförmigen Figuren und den Kreisbogen, welche ebenso wie die übrigen modificirten Zeichnungen leicht mit der von uns entwickelten Hypothese in Uebereinstimmung gebracht werden können, bieten meines Erachtens den Bewegungstheorieen Schwierigkeiten dar. Während wir im letzten Capitel diese Theorieen näher erörtern, betrachten wir jetzt einige andere geometrisch-optische

Fig. 3



Täuschungen, von denen eine grosse Anzahl mit Hülfe der von uns entwickelten Hypothese erläutert werden kann.

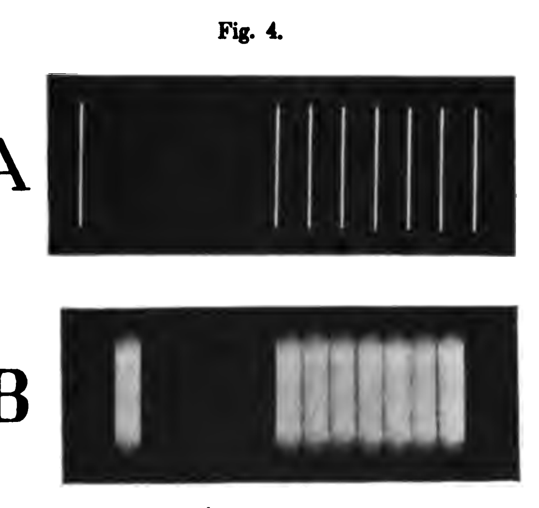
Es ist eine bekannte Erscheinung, dass eine spitze Figur kürzer gesehen wird als eine ebenso lange, flach begrenzte. In Fig. 3 A ist die horizontale Seite des Rechteckes a b ebenso lang wie die grosse Diagonale der Raute a_1 b_1. Diese letztere scheint aber kürzer zu sein, weil der Schwerpunkt des indirect, also undeutlich wahrgenommenen Endes a_1 eine Strecke weit nach der Mitte der Raute hin verschoben wird, während das Ende a in a bleibt. Dasselbe trifft resp. für b_1 und b zu. In Fig. 3 *B* findet man diese Ansicht mit Hülfe von Zerstreuungskreisen plastisch vorgestellt: die Täuschung ist hier wieder zur Wirklichkeit geworden.

Eine andere, schon längst bekannte und von hervorragenden

Forschern, Hering, Kundt, Aubert, Lotze, Volkmann, Helmholtz, Wundt, näher untersuchte optische Täuschung [1]) ist diejenige, welche erzeugt wird durch die Vergleichung eines auf dem Papier weiss gelassenen Raumes mit einem zweiten gleich grossen Raume, in welchen eine Anzahl von Punkten oder Linien hinein gezeichnet ist.

Hering und Kundt nehmen an, dass vom Auge eine einfache Distanz „nach der Sehne" geschätzt wird, „die dem Gesichtswinkel der Distanz im Auge zugehört" [2]). Die rechte Hälfte der Fig. 4 A besteht aus einer Anzahl einfacher Distanzen; sie wird darum nach der Summe der zugehörigen Sehnen geschätzt, welche grösser ist als die einzige Sehne der linken Figurhälfte. Aubert beweist jedoch, dass die nach dieser Hypothese berechneten Unterschiede viel geringer sind als die wirklich wahrgenommenen. Er schliesst sich der psychischen Erklärung Volkmann's u. Lotze's an, „dass eine Summe extensiver Reize eine intensivere Empfindung des Räumlichen hervorbringe, als ein extensiver Reiz, welcher jener Summe gleich ist" [3]).

Fig. 4.



Hering's Paradoxon.

Helmholtz vertritt die Ansicht, die Täuschung sei eine Contrasterscheinung: „dass deutlich zu erkennende Unterschiede bei allen Sinneswahrnehmungen grösser erscheinen als undeutlich zu erkennende

---

1) Siehe die Literatur in Aubert, Physiologie der Netzhaut, S. 264 bis 268, Breslau 1865. Weiter noch Helmholtz, Handbuch d. physiol. Optik, 2. Aufl. S. 705; Wundt, Grundzüge der physiol. Psychol. 2. Aufl. Bd. 2 S. 100—104, 1880 und Hering in Hermann's Handbuch der Physiol. Bd. 3 H. 1 S. 554.

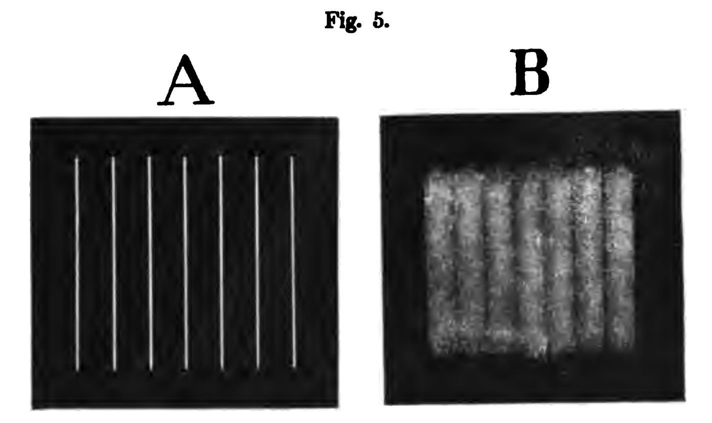
2) Aubert a. a. O. S. 265.

3) a. a. O. S. 268.

Unterschiede von gleicher objectiver Grösse. Eine erste Folge davon ist, dass wir eine getheilte Raumgrösse leicht für grösser halten als eine ungetheilte, weil die directe Wahrnehmung der Theile uns deutlicher erkennen lässt, dass die betreffende Grösse so viele und so grosse Theile enthalte, als wenn die Theile nicht erkennbar abgezeichnet sind" [1]).

Wundt versucht nahezu alle geometrisch-optischen Täuschungen durch die Innervationsempfindung bei den Augenbewegungen zu erklären. Er erwähnt, dass es anstrengender sein muss, eine gerade Linie fixirend zu verfolgen, als dieselbe Distanz mit freiem Blick zu durcheilen. Ist statt der Fixationslinie eine Reihe discreter Fixationspunkte gegeben, so wird die ganze Bewegung gleichsam in

Fig. 5.



eine Anzahl kleiner Bewegungsanstösse getrennt. Und eine solche stossweise Bewegung würde wieder anstrengender sein als die continuirlich fixirende Bewegung des Blicks [2]).

Die von uns selbst entwickelte Hypothese erklärt die Täuschung unseres Erachtens einfacher. Um nicht in Wiederholungen zu verfallen, weisen wir nur auf Fig. 4 B hin, welche, in Zerstreuungskreisen abgebildet, unsere Ansicht graphisch darstellt.

Die optische Täuschung der Fig. 4 kommt mit vielen anderen Paradoxa überein, von welchen wir in Fig. 5 ein einziges Beispiel geben. Während die Linien bei *A* ein reines Viereck einschliessen,

---

1) a. a. O. S. 705.

2) a. a. O. S. 103 u. 104.

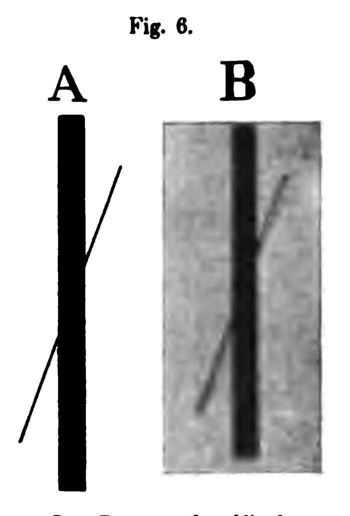
erscheint die horizontale Seite grösser als die verticale. In *B* ist die Täuschung wieder zur Wirklichkeit geworden.

Eines der am häufigsten erörterten Paradoxa ist in untenstehender Figur 6 A abgebildet.

Die dünne, schräge Linie, Nebenlinie, welche den dicken, verticalen Streifen, Hauptlinie, schneidet, scheint gebrochen zu sein, während doch die beiden sie zusammensetzenden Theile in Wirklichkeit genau eine Gerade darstellen.

Die Erklärungen, welche die verschiedenen Forscher von dieser Täuschung gegeben haben, kommen mit denjenigen der vorigen Figuren überein: die Sehnentheorie von Hering und Kundt, die Innervationsempfindung bei den Augenbewegungen von Wundt, während Helmholtz seine oben erwähnte Regel in Anwendung bringt, dass eine deutlich abgegrenzte Raumgrösse — hier der spitze Winkel — bei der Vergleichung mit einer weniger deutlich abgegrenzten — hier dem stumpfen Winkel — zu gross erscheint; wir hätten also hier wieder eine Art Contrasterscheinung [1]). Durch Contrast im gewöhnlichen Sinne des Wortes kann die Erscheinung jedoch nicht erklärt werden, weil hierdurch, wie Wundt [2]) richtig bemerkt, kleinere Raumgrössen bei der Vergleichung mit grösseren relativ immer zu klein erscheinen müssten, was gerade das Gegentheil ist von demjenigen, was wir im Poggendorff'schen Paradoxon be-

Fig. 6.



Das Poggendorff'sche Paradoxon.

1) Für eine ausführliche Literaturangabe verweisen wir nach Burmester, Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. der Sinnesorgane Bd. 12 S. 355 f. 1896. Von Volkmann, Hering (Hermann's Handbuch d. Physiol. Bd. 3 H. 1 S. 580), Guye (Handelingen v. h. 4e Nederl. Nat. en Geneesk. congres Bl. 236 1893) wird noch die folgende Ansicht näher erörtert. Wir sind im täglichen Leben durch rechtwinkelige Gegenstände umgeben, welche meistentheils perspectivisch gesehen und auf die Netzhaut mit spitzen oder stumpfen Winkeln projectirt werden. Hierdurch ist die Gewohnheit entstanden, wirklich stumpfe und spitze Winkel entweder gleichfalls für rechte zu halten, oder überhaupt spitze Winkel zu gross, stumpfe zu klein zu schätzen.

2) a. a. O. S. 107—108.

obachten können. Helmholtz führt jedoch noch ein anderes Moment an, das er, insofern es mir bekannt ist, nur zur Erklärung der Poggendorff'schen Figur in Anwendung gebracht hat: die Irradiation. Nach einer ausführlichen Beschreibung der Täuschung und ihrer Veränderungen bei einigen Abänderungen der Figur schliesst er: „Es sind dies nun gerade die Erscheinungen, welche in diesem Falle die Irradiation hervorbringen muss . . . Nahe dem Scheitel der beiden spitzen Winkel treffen die Zerstreuungskreise der beiden schwarzen Linien zusammen und verstärken sich gegenseitig; dadurch rückt das Maximum des Dunkels in dem Netzhautbilde der schmalen Linie dem breiten Streifen näher, und sie erscheint gegen diesen hingelenkt". [1])

Diese Auseinandersetzung stimmt vollkommen zu unserer Theorie, allein mit diesem Unterschiede, dass, wo Helmholtz auf Irradiation hinweist, wir die Ursache in der geringen peripheren Sehschärfe suchen.

Eine grosse Bedeutung kann der Irradiation nicht beigemessen werden, wie von Wundt[2]) bemerkt wird, der den Betrag der optischen Täuschung ungefähr gleich gross findet, wenn die breite verticale Linie durch zwei dünne parallele Grenzlinien ersetzt wird, während auch Helmholtz selbst zugibt, dass bei den grösser gezeichneten Figuren Irradiation kaum der einzige Grund ausmachen kann. Ausserdem müsste unseres Erachtens bei Anwendung von mittelstarkem und namentlich bei schwachem Lichte die Wirkung der Irradiation bedeutend abnehmen.

Unsere Hypothese hat zur Erklärung der Täuschung bei den grossen Figuren mit breiter verticaler Linie keine Schwierigkeit. Ist aber die Sehschärfe in der unmittelbaren Nähe der Netzhautgrube schon so merklich geringer als im Centrum der Fovea selbst, dass dadurch auch die Täuschung bei kleineren Figuren mit dünneren Linien und Streifen erzeugt werden kann? Ich möchte diese Frage bejahend beantworten. Wir können sehr scharf entweder den Scheitel des einen Winkels oder denjenigen des anderen in der Figur fixiren, und es ist schwer anzunehmen, dass wir den nicht fixirten Scheitel ebenso scharf wahrnehmen würden als den fixirten. Auch weisen wir auf eine Untersuchung Wertheim's hin[3]), der die indirecte

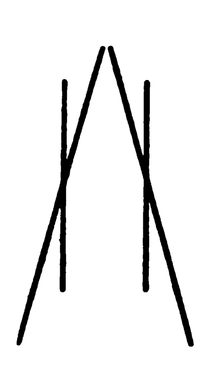
1) a. a. O. S. 707—708.

2) a. a. O. S. 109. Siehe auch Burmester a. a. O.

3) Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 7 S. 183.

Sehschärfe bis nahe am Netzhautcentrum gemessen und gezeigt hat, dass dieselbe erst äusserst schnell, sodann allmälig langsamer vom

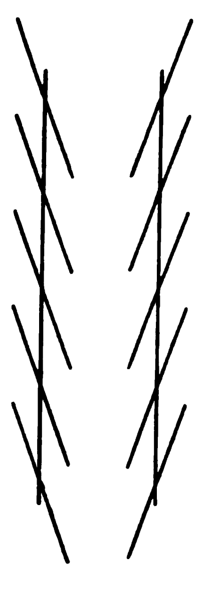
Fig. 7.





Centrum nach der Peripherie hin abnimmt. In der von Wertheim publicirten graphischen Darstellung wird das Centrum als ein einziger Punkt abgebildet, welchem das Maximum der Sehschärfe zuerkannt wird. Zum Schluss bedenke man, dass die Zerstreuungskreise im Centrum selbst, welche durch geringe Refractions- und Accommodationsfehler erzeugt werden können, das Ihrige beitragen müssen, die Täuschung hervorzurufen.

Fig. 8.



Zöllner's Paradoxon.

In einem folgenden Capitel erörtern wir die Grösse der optischen Täuschung auch in den Fällen, wo Veränderungen in der Figur angebracht werden; insbesondere wird dort die Untersuchung Burmester's näher erwähnt werden. Hier wünschen wir nur auf die Figuren 7 und 8 als Modification der Figur 6 hinzuweisen.

Figur 7 bedarf kaum einer näheren Erläuterung. Die beiden verticalen Linien, welche durch eine schräge geschnitten werden, scheinen nicht parallel zu sein. Auf gleiche Weise wie bei Figur 6 erscheinen die spitzen Winkel vergrössert, die stumpfen verkleinert.

In der Zöllner'schen Figur 8 werden die verticalen Hauptlinien, welche wieder nicht parallel erscheinen, jede durch eine Anzahl von Nebenlinien geschnitten. Das macht die Erklärung etwas verwickelter. Fixirt man einen willkürlichen Punkt der Figur, so werden die am nächsten stehenden Stücke der verticalen Linien nach unserer Hypothese unparallel erscheinen müssen. Die scheinbaren Neigungen dieser Stücke bestimmen unser Urtheil, dass jede der Hauptlinien in ihrer ganzen Länge nach derselben Richtung abweiche, während unsere falsche Vorstellung durch die weiter stehenden Theile, welche einen zu undeutlichen Eindruck machen, nicht genügend corrigirt wird. Wenn man den Blick über die Figur hin- und hergehen lässt, muss man jedes Mal in der Nähe des Fixationspunktes andere Stücke der Hauptlinien im selben Sinne unparallel sehen, wodurch der Eindruck des Nichtparallelseins bedeutend verstärkt werden muss. Dies geschieht auch wirklich. Die Erscheinung wird schon von Helmholtz[1]) erwähnt, der auch bemerkt, dass bei momentaner Beleuchtung die Täuschung entweder ganz schwindet, oder nur noch in schwächerem Reste bestehen bleibt.

Ich habe diese letztere Wahrnehmung insofern erhärten können, dass die Täuschung für mich bei momentaner Beleuchtung auch verringert wird.

Der Einfluss der Blickbewegung kommt namentlich dann stark zum Vorschein, wenn man seiner Fixation mit einer Spitze zur Hülfe kommt, welche man langsam horizontal über die Figur hingleiten lässt[2]), was Alles mit unserer Hypothese im Einklang ist[3]).

Weiter ist es leicht verständlich, dass man, um die Täuschung in Stand zu halten, die Nebenlinien nicht zu nahe an einander setzen darf, weil ja die verticalen Stücke, deren scheinbare Richtungsveränderung die scheinbare Drehung der ganzen Linien zur Folge haben muss, zu kurz werden könnten. Wegen derselben Ursache schwindet die Täuschung, wenn die Zeichnungsebene um eine der Verbindungslinie beider Augen parallele Linie genügend rückwärts gedreht wird. Die Nebenlinien bleiben dabei als ziemlich lange Linien auf die Retina projectirt, während die Projectionen der Hauptlinien bedeutend verkürzt werden. Schliesslich nähern sich im Retinabilde

1) a. a. O. S. 710.

2) Siehe Helmholtz S. 712.

3) Siehe auch über den Einfluss der Blickbewegung S. 33 dieser Abhandlung.

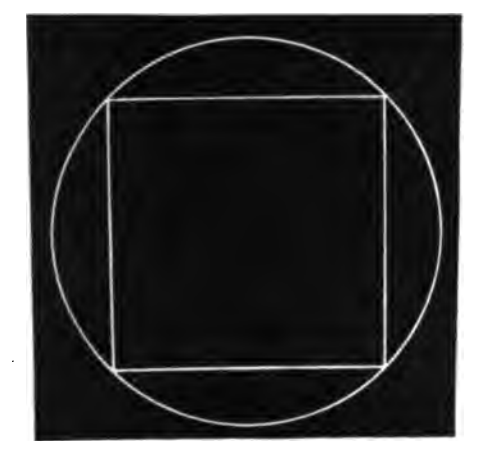
die Nebenlinien jeder Verticale einander dermaassen, dass kaum einiger Zwischenraum übrig bleibt, wodurch auch die Ursache für die Täuschung wegfällt.

Von einer Anzahl anderer bekannter geometrisch-optischer Täuschungen, welche mittelst unserer Hypothese erklärt werden können, erwähnen wir nur noch Figur 9.

In Fig. 9 *A* scheint der um das Viereck gezogene Kreis aus vier gesonderten Bogen zu bestehen, welche stärker als die Kreislinie gekrümmt erscheinen, während Fig. 9 *B* unsere Erklärungshypothese wieder graphisch darstellt. Die Schwerpunkte der undeutlich wahrgenommenen Retinabilder, welche von jeder der vier Ecken gebildet werden, fallen innerhalb der mittleren Kreislinie.

Fig. 9.

A



B



Es fällt nicht schwer, von unserer Hypothese ausgehend, ein neues Paradoxon auszudenken. Man sieht ein Beispiel in Fig. 10.

Die verticalen Linien von Fig. 10 *A* scheinen zu neigen, und Fig. 10 *B* stellt unsere Erklärungshypothese wieder graphisch dar.

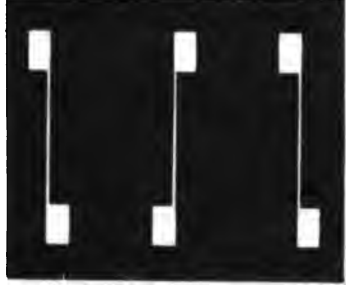
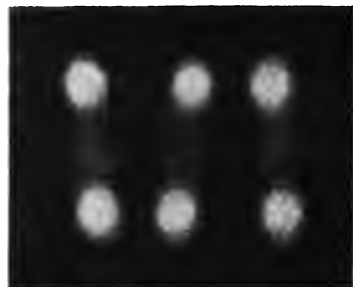
Wir schliessen dieses Capitel mit einem optischen Paradoxon, das bis jetzt nur in kleinem Kreise bekannt war, und das zeigt, wie scheinbar rein theoretische Fragen auf unerwartete Weise eine directe praktische Bedeutung erlangen können.

Im Boerhave-Laboratorium zu Leiden ist die Wand des Treppenhauses an der Innenseite mit Ziegeln ausgekleidet. Grosse

und kleine Ziegel wechseln mit einander ab, wie in Fig. 11 abgebildet ist. Die grossen Ziegel sind mit einem schwarzen Rande, die kleinen mit einem weissen Rande versehen, wie Fig. 12 *A* zeigt.

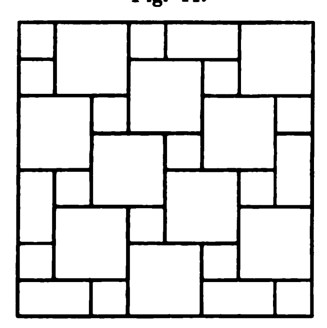
A Fig. 10. B



Obwohl die Ziegel sorgfältig gelegt sind, machen sie den unangenehmen Eindruck, kreuz und quer durch einander zu liegen. Wir weisen auf Fig. 12 *B* hin, welche unsere Hypothese wieder graphisch darstellt. In *B* ist die Täuschung von *A* wieder zur Wirklichkeit geworden.

Fig. 11.



Um zu untersuchen, ob unsere Theorie zu der Grösse der optischen Täuschung stimmt, werden wir insbesondere einige ausführliche und systematische Messungen zweier Paradoxa näher behandeln, und zwar erstens die Messungen Heymans'[1]) an der Müller-Lyer'schen Figur, sodann diejenigen Burmester's[2]) an der Poggendorff'schen Figur.

Die Grösse der durch das Müller-Lyer'sche Paradoxon verursachten optischen Täuschung.

Weil Heymans' Messungen die Basis untenstehender Berechnung bilden, folgen wir ganz seiner Nomenclatur.

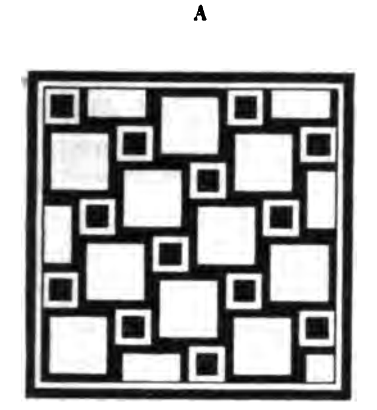
1) a. a. O. Bd. 9 S. 221. Eine zweite Untersuchung von Heymans a. a. O. Bd. 14 S. 101, betreffend die Paradoxa von Loeb und Zöllner wird in dem letzten Capitel erörtert werden.

2) a. a. O.

AB und *BC*, siehe Fig. 13, werden Vergleichslinien genannt, die übrigen Linien die Schenkel der Figur. Die Winkel, welche die Schenkel mit den Vergleichslinien machen, und welche in einer selben Zeichnung alle gleich gross sind, heissen Schenkelwinkel. Bei der Messung der Grösse der optischen Täuschung wird die Zeichnung in zwei Theile getheilt, *AB* und B_1C, siehe Fig. 13 II, wovon jeder auf einem besonderen Stück Papier. B_1C wird unter

Fig. 12.

A

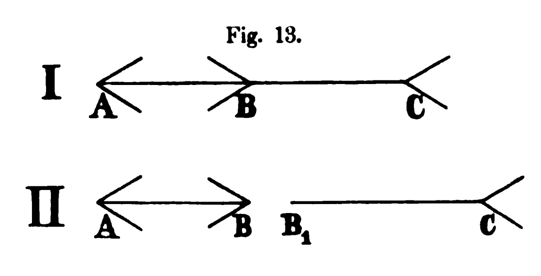


B



AB geschoben, sodass die beiden Vergleichslinien eine Gerade bilden und die Form *ABC* Fig. 13 I entsteht. Indem man mehr oder weniger anschiebt[1]), kann man *BC* nach Belieben kürzer oder länger machen; *BC* wird darum die variable, *AB* die constante Vergleichslinie genannt, welche letztere in der normalen Müller-Lyer'schen Figur 75 mm lang ist. Wenn

Fig. 13.



BC scheinbar ebenso lang gemacht ist wie *AB*, wird die Grösse der optischen Täuschung durch den wirklichen Unterschied beider Linien gemessen.

In einer Reihe von bei vielen Individuen ausgeführten Messungen untersuchte Heymans erstens, welchen Einfluss die Grösse des

1) Für nähere Einzelheiten siehe man Heymans a. a. O.

Schenkelwinkels auf den Betrag der optischen Täuschung habe. Er wendete dabei 9 Figuren an. Die constante Vergleichslinie war jedes Mal 75 mm lang, die Schenkel 20 mm, während die Schenkelwinkel hinter einander 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80° und 90° betrugen. Das entscheidende Resultat der Messungen lautet, dass die Grösse der optischen Täuschung dem Cosinus des Schenkelwinkels proportional ist.

Dies stimmt vollkommen zu der oben von uns entwickelten Hypothese; diese letztere gibt sogar mehr, weil sie zugleich das Mittel bietet, auch die absoluten Grössen der optischen Täuschungen zu berechnen. Nimmt man an, dass beim Fixiren von *B*, Fig. 1, die 20 mm langen Schenkel der Figur im indirecten Sehfelde nicht mehr von den Vergleichslinien getrennt wahrgenommen werden[1]), und dass man die Enden *A* und *C* im Schwerpunkt ihrer Zerstreuungskreise zu sehen meint, so wird *AB* um den Betrag von $^1/_2 \times 20 \cos \alpha$ verkürzt erscheinen müssen; α bezeichnet den Schenkelwinkel. *BC* erscheint um denselben Betrag verlängert, und der Unterschied zwischen *AB* und *BC* wird also $20 \cos \alpha$ mm betragen.

Die folgende Tabelle kann zeigen, inwiefern die von uns berechneten Werthe mit den von Heymans wahrgenommenen übereinstimmen.

Tabelle 1.

Schenkelwinkel (α) in Graden	Grösse der optischen Täuschung in mm		Unterschied zwischen den berechneten u. den wahrgenommenen Werthen
	wahrgenommen	berechnet	
10	18,2	19,7	+ 1,5
20	17,4	18,8	+ 1,4
30	17,4	17,3	— 0,1
40	15,2	15,3	+ 0,1
50	14,3	12,9	— 1,4
60	10,8	10,0	— 0,8
70	7,6	6,8	— 0,8
80	3,4	3,5	+ 0,1
90	— 0,2	0	+ 0,2

Die Uebereinstimmung ist derart, dass sie der Theorie eine nicht geringe Stütze verleiht. Mit einer zweiten Messungsreihe bezweckte Heymans, den Einfluss der Schenkellänge auf die Grösse

1) Siehe hierüber das folgende Capitel: „Indirecte Sehschärfe.“

der optischen Täuschung kennen zu lernen. Dabei wendete er eine Anzahl von Müller-Lyer'schen Figuren an, deren Schenkellängen von 2,5 bis 40 mm abwechselten. Die constante Vergleichslinie war jedes Mal 75 mm lang, die Schenkelwinkel betrugen immer 30°. Das Ergebniss findet man in den ersten zwei verticalen Reihen der nachfolgenden Tabelle 2 wiedergegeben.

Tabelle 2.

Schenkel-länge in mm	Grösse der optischen Täuschung in mm		Unterschied zwischen den berechneten u. den wahrgenommenen Werthen
	wahrgenommen	berechnet	
2,5	2,7	2,2	— 0,5
5	6,3	4,3	— 2,0
7,5	9,7	6,5	— 3,2
10	12,5	8,65	— 3,85
12,5	12,7	10,8	— 1,9
15	14,1	13,0	— 1,1
17,5	16,3	15,1	— 1,2
20	15,8	17,3	+ 1,5
30	18,2	26,0	
40	15,5	34,5	

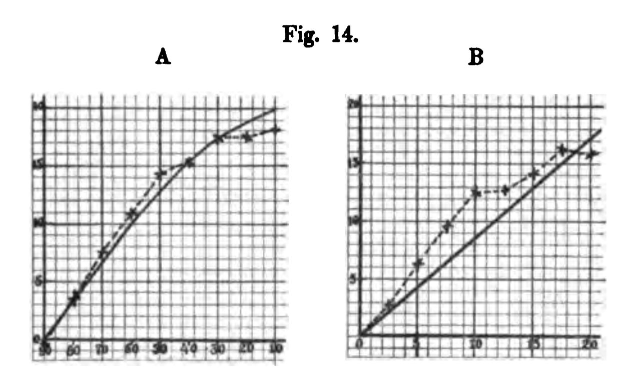
Unsere Theorie fordert wieder, dass der absolute Betrag der optischen Täuschung zu berechnen sei. Ist die Schenkellänge *a* mm, so muss für den Schenkelwinkel 30° die optische Täuschung $a \cos 30°$ betragen. In der dritten Reihe obenstehender Tabelle sind die berechneten Werthe erwähnt, in der vierten die Unterschiede zwischen den wahrgenommenen und den berechneten. Lenken wir erst unsere Aufmerksamkeit auf die Resultate hin, welche sich bei den Figuren mit kurzen Schenkeln — bis zu 20 mm — ergeben haben. Wir sehen, dass die Unterschiede zwischen den wahrgenommenen und den berechneten Werthen, obwohl grösser als in Tabelle 1, doch noch relativ gering genannt werden dürfen, was noch deutlicher in einer graphischen Darstellung hervortritt, siehe Fig. 14 *A* und *B*.

Die berechneten Werthe sind durch eine ausgezogene, die wahrgenommenen durch eine gestrichelte Linie angegeben. Die Grössen der optischen Täuschung in Millimetern sind auf der Ordinatenachse angegeben, während auf der Abscissenachse in Fig. 14 *A* die Schenkelwinkel in Graden, in Fig. 14 *B* die Schenkellängen in Millimetern

abgemessen sind. Es fällt in die Augen, dass die wahrgenommenen Werthe in der Regel grösser sind als die berechneten. Dies muss wahrscheinlich durch den Umstand erklärt werden, dass der Beobachter, während er seinen Blick über der Figur hin und her wandern lässt, auch die Punkte, welche nur während eines sehr kurzen Momentes fixirt werden können, nicht vollkommen scharf unterscheidet. Ist ausserdem sein Blick nicht auf den Mittelpunkt *B* gerichtet, so werden die drei Stellen *A*, *B* und *C* gleichzeitig unscharf wahrgenommen, wodurch, wie nicht näher auseinandergesetzt zu werden braucht, die optische Täuschung noch grösser werden kann.

Eine besondere Besprechung verdienen die Resultate, welche sich mit den langschenkeligen Figuren ergeben haben. Ueberschreitet

Fig. 14.



Graphische Darstellung der wahrgenommenen und der berechneten Grössen der optischen Täuschungen.

die Schenkellänge gewisse Grenzen, so wächst mit weiter zunehmender Schenkellänge der Betrag der optischen Täuschung nicht mehr. Dies wird namentlich deutlich gezeigt durch weitere von Heymans angestellte Messungen, wobei Schenkellängen von 30 bis 70 mm angewendet worden sind. Bei ungefähr 20 oder 30 mm Schenkellänge scheint also die optische Täuschung einen Grenzwerth zu erreichen; die Messungen zeigen weiter, dass die Täuschung bei sehr grosser Schenkellänge wieder etwas abnimmt.

In Uebereinstimmung mit unserer Theorie müssen zwei ganz verschiedene Ursachen für das Zustandekommen eines Grenzwerthes vorhanden sein. Erstens kann die Grenze durch den Grad der Sehschärfe in der Netzhautperipherie bestimmt werden, denn sobald die Schenkel im indirecten Sehfelde deutlich getrennt von den Vergleichslinien wahrgenommen werden, hört die Ursache für das Entstehen

der optischen Täuschung auf. Neben diesem Grenzwerth der ersten Art muss aber ein Grenzwerth der zweiten Art bestehen, der durch eine ganz andere Ursache erzeugt wird. Wenn man eine Müller-Lyer'sche Figur betrachtet, deren Schenkelwinkel klein, deren Schenkellängen relativ gross sind, scheint im peripheren Sehfelde ein so grosser Theil der Schenkel mit den Vergleichslinien zu confluiren, dass die hierdurch erzielte optische Täuschung bis zu einem enormen Betrage gesteigert werden würde. Bevor jedoch dieser Betrag erreicht werden kann, machen sich verschiedene einschränkende Momente geltend, unter welchen die Innervationsempfindung der Augenbewegungen wahrscheinlich eine hervorragende Stelle vertritt. Indem man die beobachtete Figur mit den Augen so zu sagen betastet, kann man sich, auch ohne die Hülfe des vollständigen Retinabildes, ein Urtheil über die relative Grösse der einzelnen Theile bilden. Dieses Urtheil kann fehlen, aber wahrscheinlich wird der gemachte Fehler niemals mehr als eine bestimmte Anzahl von Procenten der wirklichen Länge der Vergleichslinien betragen. Dies bestimmt den Grenzwerth der zweiten Art. Die optische Täuschung wird bei der Müller-Lyer'schen Figur niemals grösser als 20 bis 25 % der Länge der Vergleichslinie.

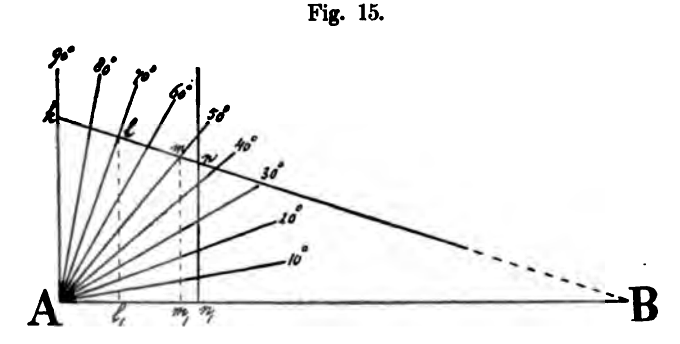
Ich hoffe später die Gelegenheit zu benutzen, durch besondere Messungen zu untersuchen, inwiefern wir mittelst unserer Augenbewegungen im Stande sind, die Länge von Linien zu beurtheilen, inwiefern also die Augenbewegungen wirklich für Dasjenige verantwortlich gestellt werden dürfen, was wir von ihnen verlangt haben. Inzwischen wünschen wir darauf hinzuweisen, dass, wo viele andere Forscher in den Augenbewegungen die Ursache für die Entstehung der Täuschung suchen, wir darin eben ein Mittel erblicken, die Täuschung einzuschränken.

Man kann aus den Messungsergebnissen folgern, unter welchen Umständen jede der beiden Arten des Grenzwerthes erreicht werden muss. In den Anhängen I und II geben wir eine ausführliche Berechnung dieser Werthe, während wir uns hier mit den Resultaten begnügen, welche leicht und übersichtlich graphisch dargestellt werden können.

In umstehender Fig. 15 bedeutet *AB* die 75 mm lange, constante Vergleichslinie aus dem Müller-Lyer'schen Paradoxon, dessen Mitte *B* gerade vor das Gesicht hingestellt und mit beiden Augen fixirt wird. In diesen Umständen wird im indirecten Seh-

felde k noch eben getrennt von AB wahrgenommen. $Ak = 23{,}86$ mm. Wenn man k mit B durch eine Gerade vereinigt, bekommt man die geometrische Lage aller Punkte, welche im indirecten Felde gleich schwer wie k von der Vergleichslinie unterschieden werden können[1]). Hieraus ergibt sich, dass bei einer Müller-Lyer'schen Figur mit einem Schenkelwinkel $= 70^0$ der Punkt l, — bei einem Schenkelwinkel $= 50^0$ der Punkt m eben noch als ein einzelner Punkt wahrgenommen wird. Bei diesen Schenkelwinkeln wird also, wenn wenigstens die Schenkel lang genug sind, das Maximum der ersten Art erreicht, während die Grösse der optischen Täuschung durch resp. $Al_1 = 8{,}2$ mm und $Am_1 = 16{,}0$ mm vorgestellt wird. Der that-

Fig. 15.



Graphische Darstellung der beiden Arten des Grenzwerthes.

sächlich gemessene Betrag weicht nur wenig von diesen Werthen ab: Al_1 beträgt nach den Wahrnehmungen Heymans' 8,6, nach eigenen Wahrnehmungen 9,5 mm; Am_1 nach Heymans' Wahrnehmungen 14,3 mm.

An_1 gibt das Maximum der zweiten Art wieder, wofür wir 18 mm angenommen haben[2]). Zieht man n_1n senkrecht zu AB, so sieht man unmittelbar aus der Zeichnung, dass dieses Maximum der zweiten Art sich geltend machen muss für alle diejenigen Müller-Lyer'schen Figuren, deren Schenkel eine genügende Länge haben und deren Schenkelwinkel ungefähr 45^0 oder kleiner sind. Nur bei

1) Dies ist zwar nur annähernd richtig — siehe das folgende Capitel —, aber die Abweichungen sind zwischen gewissen Grenzen relativ gering, so dass die Vorstellung, welche die Figur gibt, für unseren Zweck genügend exact geachtet werden darf.

2) Vgl. die Tabelle 1 S. 16.

Schenkelwinkeln, welche grösser als 45° sind, kann ein Grenzwerth der ersten Art hervortreten.

Indirecte Sehschärfe.

Stimmt die indirecte Sehschärfe zu den gefundenen Grenzwerthen?

Bevor wir absolute Werthe des Visus behandeln, untersuchen wir erst, auf welche Weise dieser im indirecten Sehfelde bei wachsender Entfernung vom Fixationspunkte abnimmt. Beschränkt man die Messungen auf einen Theil des Sehfeldes, der sich weder zu nahe am Fixationspunkte, noch bei der äussersten Peripherie befindet, so darf man annehmen, dass der Visus umgekehrt proportional dem Winkel zwischen Gesichtslinie und Beobachtungsrichtung abnimmt. Dies wird unzweideutig durch mehrere von Aubert[1]) angestellte Untersuchungen gezeigt, der das Verhältniss zwischen dem Raumwinkel und dem Zahlenwinkel, $\frac{R}{Z}$, für eine bestimmte Zahlengrösse auf verschiedenen Stellen des Sehfeldes nahezu constant fand. Der Raumwinkel R ist der doppelte Winkel zwischen der Gesichtslinie und der Beobachtungsrichtung, während der Zahlenwinkel Z der Gesichtswinkel ist, unter welchem die grössten Dimensionen der noch eben richtig erkennbaren Buchstaben oder Zahlen gesehen werden.

Bei einem geübten Auge scheint diese Proportionalität zwar verloren zu gehen, aber die Abweichungen sind gering. In den ersten zwei Reihen untenstehender Tabelle sind einige Messungen Wertheim's[2]) erwähnt, der nach langer Uebung seine eigenen Augen untersuchte. Die Sehschärfe ist durch ihr Verhältniss zum centralen Visus wiedergegeben, und dieser letztere ist gleich 1 angenommen. In der dritten Reihe (s. S. 22) ist die berechnete Sehschärfe erwähnt.

Bei der Berechnung sind wir ausgegangen vom wahrgenommenen Visus auf 10° Entfernung vom Fixationspunkte, und haben wir angenommen, dass der Visus im indirecten Felde umgekehrt proportional dem Winkel zwischen der Gesichtslinie und der Beobachtungs-

1) a. a. O. S. 239.

2) a. a. O. S. 182, Reihe 1 und 3 der Tabelle.

richtung zunehme. Die Tabelle zeigt, dass innerhalb der gewählten Grenzen die Annahme als nahezu richtig betrachtet werden darf.

Tabelle 3.

Entfernung vom Fixationspunkte	Visus im medialen Sehfelde	
	gemessen	berechnet
5°	0,333	0,4
10°	0,2	0,2
15°	0,143	0,133
20°	0,1	0,1
25°	0,074	0,08

Wenn wirklich Proportionalität vorhanden ist, muss man erwarten, dass eine Müller-Lyer'sche Figur, in sehr verschiedenen Entfernungen betrachtet, immer eine gleich grosse optische Täuschung verursache. Um diese Erwartung näher zu prüfen, stellte ich eine Versuchsreihe mit drei Figuren an. Die constanten Vergleichslinien hatten die normale Länge, 75 mm. In der ersten Figur, x, war der Schenkelwinkel 30°, die Schenkellänge 9 mm; in der zweiten, y, der Schenkelwinkel 20°, die Schenkellänge 25 mm, und in der dritten, z, der Schenkelwinkel 70°, die Schenkellänge 50 mm. Diese Figuren wurden 11 Personen vorgelegt, und zwar, um den Einfluss der vorhergehenden Messung auf die folgende so gering wie möglich zu machen, in zwei Versuchsserien, wovon die zweite einen Tag oder einen halben Tag nach der ersten ausgeführt wurde. Während in der ersten Serie jede Wahrnehmung in kurzer Entfernung — 25 bis 40 cm — einer Wahrnehmung in 3 m Entfernung folgte, war die Reihenfolge in der zweiten Serie umgekehrt. Jede Figur wurde also von jeder Person zweimal in kleinerer und zweimal in grösserer Entfernung wahrgenommen. Die Ergebnisse findet man in der untenstehenden Tabelle vereinigt. Der wahrscheinliche Fehler des mittleren Werthes wurde nach der Formel $w = 0{,}845 \times \frac{S_1}{n\sqrt{n-1}}$ berechnet, worin S_1 die Summe der positiv genommenen Abweichungen des Mittelwerthes, und n die Anzahl von Untersuchungen, in unserem Fall 22, bedeutet.

Tabelle 4.

Einfluss der Entfernung einer Müller-Lyer'schen Figur auf die Grösse der optischen Täuschung.

	Mittelwerth der optischen Täuschung in mm		Wahrscheinlicher Fehler des Mittelwerthes in mm	
	in kleiner Entfernung	in grosser Entfernung	in kleiner Entfernung	in grosser Entfernung
Figur x	7,99	7,08	0,62	0,75
Figur y	15,39	14,47	1,31	1,04
Figur z	9,75	9,22	0,85	0,85

Wir sehen deutlich aus der Tabelle, dass die Entfernung einer Müller-Lyer'schen Figur keinen oder so gut wie keinen Einfluss auf die Grösse der optischen Täuschung ausübt, dass also die oben ausgesprochene Erwartung bestätigt wird[1]). Die kurzen Schenkel der Fig. *x* werden im peripheren Sehfelde über ihre ganze Länge undeutlich von den Vergleichslinien getrennt gesehen. Rückt man die Figur dem Beobachter näher, so werden die Enden in grösserer Entfernung vom Netzhautcentrum abgebildet, wo die Sehschärfe sehr gering ist. Wird die Figur in grosser Entfernung gehalten, so werden die Enden näher am Netzhautcentrum abgebildet, wo die Sehschärfe grösser ist. Aber die Grösse des Netzhautbildes ist hier der Sehschärfe umgekehrt proportional, so dass die Deutlichkeit, womit die Figur indirect wahrgenommen wird, keine Veränderung erleidet. Damit muss also auch die Grösse der optischen Täuschung unverändert bleiben.

In Fig. *y* erreicht die Grösse der optischen Täuschung einen Grenzwerth der zweiten Art, der wahrscheinlich durch die Innervationsempfindung der Augenbewegungen bestimmt wird. Ist Letzteres thatsächlich der Fall, so wird durch die Messungsergebnisse gezeigt, dass man beim Schätzen eines Abstandes durch Augenbewegungen immer einen gleich grossen relativen Fehler macht oder m. a. W. einen Fehler, der proportional dem zu schätzenden Abstande zu- und abnimmt.

1) Vgl. eine derartige Tabelle in Heymans a. a. O. S. 253. Dieser wendete einige Müller-Lyer'schen Figuren von verschiedener Grösse an, welche von jedem Wahrnehmer in gleicher, übrigens von ihm selbst zu bestimmender Entfernung von den Augen gehalten wurden.

, In Fig. *s* sind die Schenkel von solcher Länge und ist der Winkel von solcher Grösse, dass hier der Betrag der optischen Täuschung einen Grenzwerth der ersten Art erreicht, der, wie wir oben gezeigt haben, durch den Grad der Sehschärfe beim indirecten Sehen bestimmt wird.

Die mit Fig. *s* erhaltenen Ergebnisse veranlassen uns, den absoluten Betrag der optischen Täuschung direct mit der absoluten Sehschärfe in der Netzhautperipherie zu vergleichen. Während wir in den Anhängen ausführlich die Berechnungsmethode beschreiben werden, erörtern wir an dieser Stelle nur das Resultat. Als Maassstab für die indirecte Sehschärfe wird der Winkel angenommen, unter welchem zwei Punkte noch eben getrennt wahrgenommen werden können, und zwar in einer Fntfernung = 13° 11′ vom Fixationspunkte. Die folgende Tabelle gibt eine Uebersicht der verschiedenen in diesem Maassstabe ausgedrückten indirecten Sehschärfen: 1. wie dieselben aus den Grössen der optischen Täuschung gefolgert, und 2. wie sie aus den directen Messungsergebnissen einer Anzahl von Forschern berechnet werden können.

Tabelle 5.

Visus im directen Sehfelde in 13° 11′ Entfernung vom Fixationspunkte. Der Visus ist im Gesichtswinkel ausgedrückt, unter welchem zwei Punkte noch getrennt wahrgenommen werden können.

Aus der Grösse der optischen Täuschung nach eigenen Messungen berechnet (Müller-Lyer'sche Figur, Schenkelwinkel 70°) . .	4° 50′
Aus der Grösse der optischen Täuschung nach Messungen von Heymans berechnet (Müller-Lyer'sche Figur, Schenkelwinkel 70°)	4° 21′
(„ „ „ 50°)	3° 17′
Nach directen Messungen von Aubert	1° 48′
„ „ „ „ Volkmann	6° 12′
„ „ „ „ Hueck	0° 14′
„ „ „ „ Schadow	0° 11′ 0° 44′
„ „ „ „ Königshofer	1° 50′ 3° 40′
„ „ „ „ Dor	1° 6′
„ „ „ „ Dobrowolsky und Gaine . . .	0° 50′ 2° 55′
„ „ „ „ Wertheim	0° 20′

Die durch Klammern verbundenen Zahlen zeigen die Ergebnisse, welche nach den Wahrnehmungen bei mehreren Individuen von ein und demselben Forscher angegeben sind.

Am meisten muss wohl auffallen, dass die Resultate so sehr von einander abweichen. Volkmann gibt mit 6° 12′ einen 30 bis 40 Mal geringeren Visus an als Schadow, der in einem Fall einen Visus = 11′ findet. Die Messung der indirecten Sehschärfe ist keine leichte Sache. Abgesehen von der Schwierigkeit, welche im genauen Fixiren gelegen ist und bei bleibender Beleuchtung für ein geübtes Auge sehr hoch geschätzt werden muss, hat man auch noch mit einer Anzahl von über die ganze Retina verbreiteten blinden Flecken zu kämpfen, von denen einige constant, andere nur zeitweise vorhanden sind [1]). Schon sehr bald kann sich der Einfluss der Ermüdung geltend machen. Fixirt man die Mitte einer Müller-Lyer'schen Figur während 5 bis 20 Secunden, so kann man beobachten, dass die indirect wahrgenommenen Enden der Figur beim Fixiren plötzlich aus dem Gesichtsfelde verschwinden, um nachher wieder für kurze Zeit mehr oder weniger deutlich zum Vorschein zu treten.

Die Ergebnisse sind ausser von den gewöhnlichen Einflüssen, wie Lichtstärke, bleibende oder momentane Beleuchtung, Anwendung von Buchstabeproben oder Drahtgittern u. s. w., noch in hohem Maasse abhängig von der Uebung des zu untersuchenden Auges. „Der Einfluss der Uebung," sagen Dobrowolsky und Gaine [2]), „kommt zuweilen schon nach dem ersten Versuch zum Vorschein." Weiter muss noch erwähnt werden, dass Aubert die räthselhafte Erscheinung wahrnahm und wiederholt bestätigt fand, dass bei constantem Gesichtswinkel kleine nahe Zahlen leichter erkannt werden als grosse ferne [3]). Dobrowolsky und Gaine fanden, dass das indirect wahrgenommene Object leichter erkannt wird, wenn man es bewegt als wenn man es in Ruhe lässt [4]). Alle diese Momente zusammen müssen dazu beigetragen haben, die Resultate so sehr von einander abweichen zu lassen.

Der aus der Grösse der optischen Täuschung berechnete Visus,

---

1) Siehe Helmholtz a. a. O. S. 263.

2) Pflüger's Arch. Bd. 12 S. 420.

3) a. a. O. S. 240 und 248.

4) a. a. O. S. 420.

durch Gesichtswinkel vorgestellt, welche von 4° 58′ bis zu 3° 17′ abwechseln, stimmt am besten zu den Messungsergebnissen

Volkmann's,	6° 12′,
Königshofer's,	3° 40′,
Dobrowolsky's und Gaine's	2° 55′.

Doch müssen wir zugeben, dass durch die enormen Unterschiede, welche die directen Messungen der Sehschärfe in der Netzhautperipherie ergeben haben, die feste Grundlage für unsere Theorie, welche ja in einem constanten, sicheren Ergebniss gelegen sein könnte, wegfällt. Wir können nur feststellen, dass die Messungsresultate der indirecten Sehschärfe nicht mit unserer Theorie im Widerspruch sind. Dass der Visus in der Netzhautperipherie bei verschiedenen Personen sehr abwechselt und bei ein und derselben Person in so besonders hohem Maasse von Uebung abhängig ist, stimmt insofern zu den Messungsergebnissen der Grösse der optischen Täuschung, dass auch hier die Abweichungen zwischen den Messungsergebnissen ein und derselben Person[1]) viel geringer sind als die Unterschiede, welche in den Resultaten bei verschiedenen Individuen vorkommen, und dass unter dem Einfluss der Uebung die Grösse der optischen Täuschung leicht bis auf einen kleinen Bruchtheil des ursprünglichen Werthes sinken kann[2]).

Einige Forscher haben gefunden, dass die Sehschärfe im verticalen Meridian in gleicher Entfernung vom Netzhautcentrum geringer ist als im horizontalen. Ist hiermit in Uebereinstimmung auch die Grösse der optischen Täuschung verschieden, je nachdem man bei der Messung die Vergleichslinien der Müller-Lyer'schen Figur in den einen oder den andern Meridian rückt?

Dieselben oben schon beschriebenen Figuren, x, y und z, wurden denselben 11 Personen vorgelegt, und die Messungen wurden wieder in zwei Reihen ausgeführt. Während in der ersten Reihe nach jeder Wahrnehmung mit der constanten Vergleichslinie nach links eine Wahrnehmung mit dieser Linie nach oben folgte, wurde in der

---

1) Ist die Reihe von Messungen klein, so darf angenommen werden, dass die Uebung während der Messung nur wenig zunimmt.

2) Vielleicht könnte man beim Prüfen der Theorie einen Schritt weiter gehen, wenn man bei einer grossen Anzahl von Personen die indirecte Sehschärfe nach ein und derselben Methode misst, und dann untersucht, wie gross die optische Täuschung ist, welche bei jeder dieser Personen durch eine Reihe von verschiedenen Figuren erzeugt wird.

zweiten Reihe die constante Vergleichslinie erst nach unten, dann nach rechts gehalten. Die Ergebnisse findet man in der untenstehenden Tabelle vereinigt, worin die wahrscheinlichen Fehler wieder auf die oben schon erwähnte Weise berechnet sind.

Tabelle 6.

Einfluss der Richtung, worin eine Müller-Lyer'sche Figur beobachtet wird, auf die Grösse der durch sie verursachten optischen Täuschung.

	Mittelwerth der optischen Täuschung in mm		Wahrscheinlicher Fehler des Mittelwerthes in mm	
	Vergleichslinien horizontal	Vergleichslinien vertical	Vergleichslinien horizotal	Vergleichslinien vertical
Figur x	6,43	8,02	0,62	0,65
Figur y	13,81	15,84	1,06	0,94
Figur z	10,22	8,19	0,77	0,88

Es zeigt sich, dass die Grössenunterschiede der optischen Täuschung bei horizontaler und verticaler Lage der Figuren zu gering sind, um daraus einen zuverlässigen Schluss zu ziehen. Weil die Unterschiede der Sehschärfe im verticalen und horizontalen Meridian ebenso wenig gross genannt werden können, erscheint es uns auch hier wieder am besten, uns zu begnügen mit der Bemerkung, dass die Messungsergebnisse nicht mit unserer Theorie im Widerspruch sind.

Die Grösse der durch die Poggendorff'sche Figur verursachten Täuschung.

Nach der genauen Untersuchung[1]) Burmester's wird die scheinbare Verschiebung v der beiden Theile der Nebenlinie in der Poggendorff'schen Figur durch die Formel

$$v = k\,u\,cotg\,w$$

ausgedrückt, worin k eine Constante, u die Dicke der Hauptlinie und w den Winkel bedeutet, unter welchem die Hauptlinie durch die Nebenlinie geschnitten wird. Ich habe versucht, diese Formel direct aus meiner Hypothese herzuleiten, was mir jedoch nicht gelungen ist. Zwar kann leicht gezeigt werden, dass es zu der Hypothese stimmt, dass die Verschiebung v sowohl mit u wie mit $cotg\,w$ zu-

1) a. a. O.

nimmt; aber die Proportionalität nach der Formel Burmester's ist damit nicht bewiesen, und weil die Messungen des Letzeren an Genauigkeit nichts zu wünschen übrig lassen, thut sich hier für unsere Hypothese eine nicht zu verkennende Schwierigkeit auf.

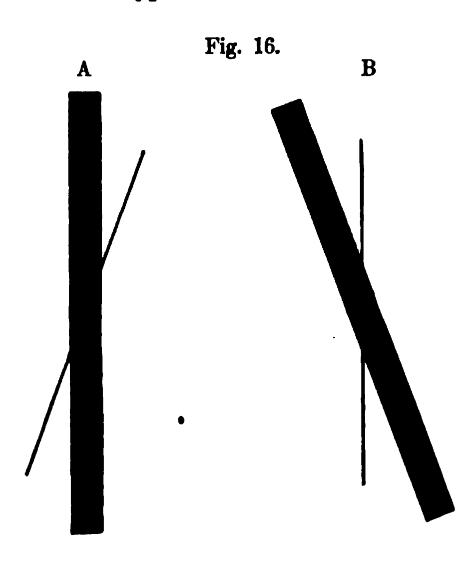


Fig. 16.

Diese ist jedoch nicht unüberwindlich. Die geringe indirecte Sehschärfe würde aller Wahrscheinlichkeit nach zu viel grösseren scheinbaren Verschiebungen v Anlass geben, wenn nicht kräftige Momente wirksam wären, wodurch die Grösse der optischen Täuschung innerhalb relativ enger Grenzen gehalten wird. Diese Momente — vielleicht die Augenbewegungen — machen sich bei der Poggendorff'schen Figur schon für kleine Grössen von v stark geltend und können darum sehr bedeutend zur Bestimmung ihres Werthes beitragen. Das ist aus den Erscheinungen ersichtlich, welche hervortreten, wenn man die Poggendorff'sche Figur in der Zeichnungsebene um die Gesichtslinie dreht. Stellt man die Nebenlinie vertical, wie in Fig. 16 *B*, so wird die scheinbare Verschiebung, welche in 16 *A* sehr deutlich ist, ganz oder so gut wie ganz verschwinden. Wir können mittelst unserer Augenbewegungen die Richtung der Verticale so scharf beurtheilen, dass dieselben Ursachen, welche bei einer anderen Richtung der Nebenlinie eine bedeutende scheinbare Verschiebung v erzeugen, jetzt dazu nicht oder so gut wie nicht mehr im Stande sind.

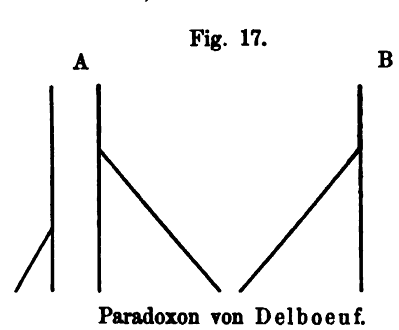


Fig. 17.

Paradoxon von Delboeuf.

Es braucht uns jetzt auch nicht mehr zu verwundern, dass die Täuschung in der Poggendorff'schen Figur durch die Abänderung

von Delboeuf, siehe Fig. 17, vergrössert wird [1]). Lenkt man seine Aufmerksamkeit nur auf die indirecte Sehschärfe als die Ursache für die Entstehung der optischen Täuschung, ohne die Momente zu berücksichtigen, wodurch die Grösse der Täuschung eingeschränkt wird, so sollte man in der Delboeuf'schen Figur eine geringere Täuschung erwarten als in der ursprünglichen Poggendorff'schen: die scheinbare Verschiebung des einen Schneidepunktes müsste durch eine ebenso grosse Verschiebung des andern compensirt werden, während nur die Richtungsveränderung der kurzen Schnittlinie für das Zustandekommen der Täuschung verantwortlich gemacht werden darf. Weil jedoch die zwei Schenkel einen Winkel mit einander machen, wird das beschränkende Moment, das sich in der ursprünglichen Poggendorff'schen Figur so stark geltend macht, dermaassen abgeschwächt, dass die Grösse der optischen Täuschung doch noch zunimmt.

Durch unsere Hypothese haben wir noch eine Erscheinung kennen gelernt, welche hier mit einem Worte erwähnt werden mag. Bewegt man den Blick über die Delboeuf'sche Figur von einem Schneidepunkte zum andern wiederholt hin und wieder, so scheint die Spitze der langen Schnittlinie sich jedesmal zu verschieben. Sie steht höher, wenn man sie selbst fixirt, und niedriger, sobald der Blick wieder auf die Spitze der kurzen Schnittlinie gerichtet ist, so dass die Täuschung abwechselnd verstärkt und abgeschwächt erscheint [2]). Die Erklärung liegt in der mehr oder weniger unscharfen Wahrnehmung der Spitze der kurzen Schnittlinie, deren scheinbare Richtungsveränderung ja die einzige Ursache der Täuschung darstellt. Bei der unveränderten Poggendorff'schen Figur kann man etwas Derartiges nicht beobachten, weil hier die unscharfe Wahrnehmung jeder der beiden Spitzen den gleichen Effect hat.

---

1) Vgl. Burmester a. a. O. S. 379 f.

2) Der Versuch kann leicht gemacht werden, aber man muss darauf achten, dass man nur urtheilt, wenn jedes Mal der Blick auf einem der Schneidepunkte ruht, — nicht während der kurzen Zeit selbst, dass er sich vom einen nach dem anderen Schneidepunkte hin- oder zurückbewegt. Denn im letzteren Fall macht sich ausserdem noch ein anderer Einfluss geltend: die Punkte im Raume scheinen in einer der Bewegungsrichtung der Blicklinie entgegengesetzten Richtung bewegt zu werden.

Schlussbetrachtungen.

Wir sind weit davon entfernt, zu behaupten, dass alle geometrisch-optischen Täuschungen nur durch die geringe Sehschärfe in der Netzhautperipherie erklärt werden müssten. Im Gegentheil halten wir uns davon überzeugt, dass noch eine Anzahl anderer Momente bei der falschen Beurtheilung von Richtung und Abstand eine Rolle spielen.

Unter den Täuschungen, welche durch unsere Hypothese nicht erklärbar oder — für einige der hier unten zu erwähnenden Paradoxen vorsichtiger ausgedrückt — noch nicht erklärt sind, nennen wir an erster Stelle solche, welche wahrscheinlich unter andere Rubriken gebracht werden müssen, wie z. B. die scheinbare Form des Himmelsgewölbes, die scheinbare Grösse von Sonne und Mond auf verschiedener Höhe über dem Horizonte u. s. w. Aber weiter müssen eine Anzahl von durch unsere Hypothese nicht erklärten Paradoxa genannt werden, welche mit den in dieser Abhandlung erörterten eine grosse Uebereinstimmung zeigen. Es ist z. B. eine bekannte Erscheinung, dass verticale Linien grösser geschätzt werden als horizontale[1]), und dass man einen horizontalen Abstand ungleich halbirt, wenn er mit einem Auge gemessen wird[2]). Weiter erwähnen wir das Paradoxon von Loeb[3]), das wie folgt umschrieben werden kann. Wenn man bei fixirtem Kopfe zwei bewegliche, schmale Pappdeckelstreifen *a* und *b*, siehe Fig. 18, in gewisser Entfernung von einander parallel zur Medianebene und den einen scheinbar in die Verlängerung des andern legt, wird man die Einstellung ungenau finden, sobald ein dritter paralleler Streifen, *c*, in die Nähe von *b* gelegt wird. Wird *c* rechts von *b* hingestellt, so erscheint *b* nach links verschoben, während *b* sich scheinbar nach der entgegengesetzten Richtung bewegt, wenn *c* links von *b* hingelegt wird. Loeb erklärt die Erscheinung durch den folgenden Satz: „Zwei Punkte oder Linien mit verschiedenen Raumwerthen, die gleichzeitig der Aufmerksamkeit unterliegen, beeinflussen sich so, als ob sie sich gegenseitig abstiessen, wodurch ihr scheinbarer Abstand vergrössert wird.“

Fig. 18.

Paradoxon von Loeb.

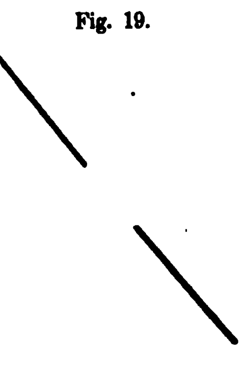
1) Vgl. Wundt a. a. O. S. 108.
2) Vgl. Wundt a. a. O. S. 108.
3) Pflüger's Arch. Bd. 60 S. 509. 1895.

Von Wundt ist die Aufmerksamkeit auf ein anderes Paradoxon gelenkt, das eine Abänderung der Poggendorff'schen Figur darstellt:

Zwei schräge in der Verlängerung von einander gelegene und durch einen offenen Zwischenraum getrennte Linien scheinen gegenseitig verschoben zu sein, siehe Fig. 19.

Wir wünschen bezüglich der obengenannten Paradoxa zwei Bemerkungen zu machen. Erstens, dass die Grösse der optischen Täuschung bei denselben nur sehr gering ist. Burmester[1]) fand die Täuschung im letztgenannten Wundt'schen Paradoxon im entgegengesetzten Sinne wie Wundt selbst, und sagt: „Die Täuschung bei der Streckenfigur ist gering, und die Schwankungen in der Beurtheilung sind ziemlich gross" [2]).

Fig. 19.



Heymans[3]) findet die Messung der Grösse der Loeb'schen Täuschung mittelst ungeübter Augen schwer ausführbar. Er zieht es vor, die Messungen nur mit Hülfe einer einzigen, sehr geübten Beobachterin zu verrichten. Und dann zeigt sich auch hier, dass die Grösse der Täuschung z. B. in Vergleichung mit dem Müller-Lyer'schen Paradoxon sehr gering ist. Bei den Messungen der Loeb'schen Figur wurde ein grosses Brett von 82 × 55 cm angewendet, auf welchem 55 cm lange, 1 cm breite Kupferreifen verschiebbar angebracht waren. Das Maximum der optischen Täuschung betrug 2,7 mm, während die durch eine Müller-Lyer'sche Figur von derartigen Dimensionen erzeugte Täuschung mehr als das Zwanzigfache betragen würde[4]).

---

1) a. a. O. S. 358 u. 359.

2) a. a. O. S. 390.

3) a. a. O. Bd. 14 S. 129 f.

4) Die Berechnung ist auf folgende Weise zu Stande gekommen. Weil die halbe Breite des Brettes 41 cm beträgt, werden wir nicht allzu sehr irre gehen, wenn wir die zu vergleichenden Abstände — welche von Heymans nicht besonders erwähnt werden —, als mindestens 20, vielleicht besser als 30 cm annehmen. Wir müssen uns nun abfragen, wie gross die optische Täuschung einer Müller-Lyer'schen Figur ist, bei welcher ebenso grosse Abstände mit einander verglichen werden müssen. Aus Messungen von Heymans (a. a. O. S. 253) sowohl wie von uns selbst (S. 23) hat sich gezeigt, dass die Grösse der optischen Täuschung proportional der Länge der

Indessen muss anerkannt werden, dass, sind die Beträge auch klein, hierdurch die Sicherheit der Täuschung und die regelmässige Veränderung bei wechselndem Abstande der Nebenlinien nicht beeinträchtigt wird. Die von Heymans veröffentlichten Messungsergebnisse lassen an Deutlichkeit und Entschiedenheit wenig zu wünschen übrig, und wir haben nur darum darauf hingewiesen, dass die Beträge klein sind, um zu beweisen, dass man ohne Schwierigkeit annehmen darf, dass die Ursache für die optische Täuschung eine andere ist. Für die Messungen Heymans' bezüglich der Zöllner'schen Figur[1]) gilt dasselbe wie für diejenigen bezüglich der Loeb'schen.

Zweitens wünschen wir bezüglich der in diesem Capitel erörterten Täuschungen zu bemerken, dass der Einfluss des indirecten Sehens auf ihre Entstehung noch nicht a priori ausgeschlossen zu werden braucht. Wir haben oben schon aus einander gesetzt, dass die undeutliche Wahrnehmung in der Peripherie des Gesichtsfeldes ausser durch die mangelhafte Function der Netzhaut auch noch durch das Entstehen thatsächlicher Zerstreuungskreise verursacht wird. Wir projectiren jedes Netzhautbild nach Aussen in der Richtung der Linie, durch welche es mit dem Knotenpunkte des Auges verbunden wird. Weil die Mitte der Pupille nicht mit dem Knotenpunkte zusammenfällt, müssen wir überhaupt das Bild eines Lichtpunktes nur dann richtig nach Aussen projectiren, wenn es scharf auf der Netzhaut abgezeichnet ist. Sobald die Abbildung in einem Zerstreuungskreis stattfindet, wird unsere Projection nach Aussen falsch. Nur für einen Fall muss eine Ausnahme gemacht werden, und zwar wenn der Lichtpunkt sich auf der Linie befindet, welche die Mitte der Pupille mit dem Knotenpunkte verbindet[2]). Beim indirecten Sehen müssen wir also Rechnung tragen mit reellen Verschiebungen der Zerstreuungsfiguren auf der Netzhaut. Diese können

---

constanten Vergleichslinie zunimmt. Bei einer Vergleichslinie = 75 mm, Schenkeln = 20 mm und Schenkelwinkeln = 10° war die Täuschung im Mittel = 18,2 mm, vgl. Tabelle 1 S. 16. Bei einer constanten Vergleichslinie = 20 oder 30 cm würde sie also resp. 52 oder 78 mm betragen.

1) a. a. O. Bd. 14.

2) Für eine nähere Auseinandersetzung verweisen wir auf zwei frühere Abhandlungen. v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 31 H. 3 S. 211, 1885 und Pflüger's Arch. Bd. 62 S. 166, 1895. Weiter mag auch Schapringer erwähnt werden: Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. der Sinnesorgane Bd. 5 S. 385.

bei vielen geometrisch-optischen Täuschungen eine Rolle spielen, und wo die Grösse der Täuschung gering ist, scheint es uns eine nothwendige Forderung, bevor man zur Behandlung verschiedener, mehr oder weniger complicirter Theorieen übergeht, in jedem besonderen Falle den Einfluss der Bildverschiebung auf der Netzhaut zu untersuchen.

Wir erörtern jetzt noch kurz die Augenbewegungen, welche den Grund für die bedeutendsten Theorieen zur Erklärung geometrisch-optischer Täuschungen gebildet haben[1]). Dabei müssen wir zwischen zwei verschiedenen Effecten der Augenbewegungen einen scharfen Unterschied machen. Erstens können wir unsere Aufmerksamkeit auf die Bewegung der Lichtbilder auf der Netzhaut lenken, wobei es gleichgültig ist, ob eine wirkliche Augenbewegung stattfindet. Das Auge kann sich hinsichtlich eines stillstehenden Objectes oder, was auf dasselbe hinauskommt, das Object kann sich hinsichtlich des stillstehenden Auges bewegen. Während einer Verschiebung der Lichtbilder auf der Netzhaut können, wie Helmholtz[2]) zeigte, sehr eigenthümliche Täuschungen entstehen oder auch schon vorhandene Täuschungen bedeutend vergrössert werden.

Aber zweitens müssen wir die hoch entwickelte Innervationsempfindung in Rechnung bringen. Hierin wird bei der wirklichen Ausführung einer Augenbewegung in der Regel ein richtiger Maassstab für die Beurtheilung von Richtung und Abstand gelegen sein. Allein unter sehr bestimmten Umständen könnte dieselbe Innervationsempfindung uns irreleiten. Auf diesem Grunde bauen Wundt, Lipps, Delboeuf und Heymans die Erklärung einer Anzahl von geometrisch-optischen Täuschungen auf, während sie dabei jedoch die Theorie auf verschiedene Weise in Einzelheiten ausarbeiten.

Inwiefern ihre Vorstellungen richtig sind, kann mittelst der Momentanbeleuchtung, wobei Augenbewegungen ausgeschlossen sind, untersucht werden. Momentanbeleuchtungen von optischen Paradoxa sind mehrere Male ausgeführt worden. Schon Helmholtz[3]) erwähnt, dass hierbei die Täuschung der Poggendorff'schen Figur

1) Ueber Contrast als eine Erscheinung, welche selbst noch Erklärung braucht, siehe S. 5.

2) a. a. O. S. 712.

3) a. a. O. S. 710.

unverändert bleibt. Später hat ein Referent in den klinischen Monatsblättern diesen Versuch mit ungefähr dem gleichen Erfolg wiederholt [1]). Auch wir haben Momentanbeleuchtung angewendet, und bei einer grossen Anzahl von Figuren gefunden, dass die optische Täuschung in ungefähr demselben Maasse bestehen bleibt, wie wenn die Beleuchtung bleibend ist [2]). Aber gegen derartige Wahrnehmungen führt Heymans [3]) an, dass die thatsächliche Ausführung der Bewegung keine nothwendige Forderung für die Erzeugung der Täuschung ist; die Bewegungsvorstellung würde dazu schon genügen.

Allein Messungen werden die grössere oder geringere Bedeutung dieser Behauptung in's Licht stellen können. Diese sind mit den Figuren *x*, *y* und *z*, vgl. S. 22, ausgeführt worden. Die Versuche wurden wieder in zwei Serien vertheilt, welche längere Zeit nach einander gemacht wurden. In der ersten Serie folgte jedes Mal und bei jeder Figur die Messung mit bleibender Beleuchtung derjenigen mit Momentanbeleuchtung, während die Reihenfolge in der zweiten

Tabelle 7.
Einfluss der Augenbewegungen.

	Mittelwerth der optischen Täuschung in mm bei		Wahrscheinlicher Fehler des Mittelwerthes in mm bei	
	momentaner Beleuchtung	bleibender Beleuchtung	momentaner Beleuchtung	bleibender Beleuchtung
Figur x	7,47	8,17	0,76	0,58
Figur y	15,35	14,48	1,22	0,99
Figur z	11,16	8,74	0,77	0,57

1) Jahrg. 34 S. 174, 1896.

2) Die Momentanbeleuchtung der Zöllner'schen Figur verringert die optische Täuschung, vgl. S. 12.

3) a. a. O. Bd. 14 S. 114. Heymans glaubt für seine Annahme eine Stütze zu finden in der folgenden Erscheinung: Fixirt man längere Zeit sich bewegende Objecte und richtet dann plötzlich seinen Blick auf einen stillstehenden Punkt, so scheint der letztere ebenfalls in Bewegung zu sein. Man muss sich dabei aber abfragen, ob bei dem Versuche, den stillstehenden Punkt zu fixiren, die Augen in Ruhe bleiben. Hat man sich bewegende Objecte fixirt, so werden die Augenmuskeln wahrscheinlich wohl auf besondere Weise functionirt haben und leicht noch während kurzer Zeit eine Nachwirkung erfahren. Dass dem thatsächlich so ist, findet man ausführlich in Wundt a. a. O. S. 110 und 111 beschrieben.

Serie umgekehrt war. Die Vergleichslinien waren horizontal gestellt und die Constante immer links vom Beobachter. Das Ergebniss findet man in vorstehender Tabelle 7 wiedergegeben.

Die Momentanbeleuchtung wurde erzielt mittelst einer Projectionslaterne mit Bogenlampe. Hiermit wurde ein rundes Feld beleuchtet, das für die ganze Schiebervorrichtung mit der Müller-Lyer'schen Figur gerade gross genug war. Ein photographisches Objectiv mit schneller Momentschliessung wurde alle zwei Secunden momentan geöffnet. Die Oeffnungsdauer ist zwar nicht besonders gemessen, darf aber auf $^1/_{50}$ oder $^1/_{100}$ Secunde geschätzt werden und ist sicher so kurz, dass der Einfluss einer Augenbewegung, welche während der Beleuchtung noch ausgeführt werden könnte, ganz vernachlässigt werden darf. Solange das Objectiv geschlossen bleibt, ist das Zimmer so dunkel, dass der Beobachter, welcher sich in ungefähr 1 m Entfernung von der Schiebervorrichtung befindet, nicht die geringste Spur der Figur sehen kann, wogegen die Beleuchtung während des Oeffnens des Objectivs sehr stark ist und die Erzeugung von deutlichen Nachbildern veranlasst.

Ein Assistent verschiebt nach Angabe des Beobachters die variable Vergleichslinie so lange, bis die beiden Vergleichslinien für den letzteren keinen Längenunterschied mehr aufweisen. Um ausser der Beleuchtungsdauer alle übrigen Umstände so viel wie möglich einander gleich zu machen, wurden die Messungen mit bleibender Beleuchtung ganz auf dieselbe Weise und mit derselben Bogenlampe ausgeführt.

Eine Bewegung der Blicklinie längs den Schenkeln und den Vergleichslinien der Figur, wie dieselbe von den verschiedenen Forschern bezweckt ist, dürfen wir beim Versuch mit Momentanbeleuchtung als ausgeschlossen betrachten. Hier könnte nur die Bewegungsvorstellung erregt werden, und mag man auch behaupten, dass die Bewegungsvorstellung einen Effect gleicher Qualität erzeugen kann, wie die Ausführung der Bewegung selbst, so ist es doch sehr schwer, anzunehmen, dass die Wirkung auch quantitativ gleich sei. Tabelle 7 gibt an, dass die optischen Täuschungen bei momentaner und bei bleibender Beleuchtung ungefähr gleich gross sind. Bei Figur *x* ist der Betrag bei Momentanbeleuchtung geringer, bei den Figuren *y* und *z* dagegen grösser, aber diese Unterschiede sind zu klein, um einen sicheren Schluss zu gestatten: die zufälligen Fehler sind relativ gross, und der grösste Unterschied — bei Figur *z* —

beträgt nur 2,4 mm. Man vergleiche auch die Ergebnisse der Tabellen 4 und 6 mit der zweiten Reihe der Tabelle 7.

Wir haben oben nachdrücklich behauptet, dass während einer Momentanbeleuchtung von $^1/_{80}$ oder $^1/_{100}$ Secunde so gut wie keine Augenbewegungen stattfinden konnten. Muss aber den Bewegungen, welche zwischen zwei Momentanbeleuchtungen ausgeführt werden, also während das Zimmer dunkel ist und die Figur nur in Nachbildern gesehen wird, keine Bedeutung beigemessen werden? Hierdurch wird man das durch die vorhergehende Momentanbeleuchtung verursachte Nachbild messen an der bei der folgenden Momentanbeleuchtung zum Vorschein tretenden Figur, und beim Messen und Vergleichen kommt auch wieder die Innervationsempfindung der Augenbewegungen zum Bewusstsein. Jetzt kann dieselbe jedoch nur allein wirken im oben von uns erwähnten Sinne. Sie kann dem Beobachter bei seinen Längebeurtheilungen nur helfen, statt, wie von vielen Forschern angenommen wird, gerade die Ursache für die Entstehung der optischen Täuschung darzustellen. Sie würde also hier wieder dazu beitragen, das Maximum der zweiten Art zu bestimmen[1]).

Es wird wohl schwer sein, zu beweisen, dass die verschiedenen Erklärungsprincipien, welche wir in unserer Abhandlung erwähnten, und welche beinahe ohne Ausnahme etwas Annehmliches bieten, richtig sind oder nicht. Man darf sich jedoch fragen, inwiefern die in den Vordergrund gerückten Momente genügen, den vollen Betrag der optischen Täuschungen zu erzeugen, oder in welchem Maasse sie dazu beitragen. Und dann dürfte die von uns entwickelte Hypothese, wie es scheint, nicht ohne Wichtigkeit sein. Sie ist nicht weniger einfach, deutlich und zulässig als die anderen Hypothesen und Theorieen.

---

1) Das Moment, welches wir zur Erklärung der geometrisch-optischen Täuschungen hervorgehoben haben, beruht auf den Netzhautqualitäten, welche man Localzeichen, Ort- oder Raumsinn nennt. Bei der Beurtheilung von Abstand und Grösse überhaupt macht sich ausser diesem Raumsinn der Netzhaut noch ein anderes Moment geltend: die Innervationsempfindung der Augenbewegungen, der Bewegungssinn. Es kommt mir im Gegensatze zu einigen hochgeschätzten Autoren unrichtig vor, den Unterschied zwischen beiden nur scheinbar zu nennen.

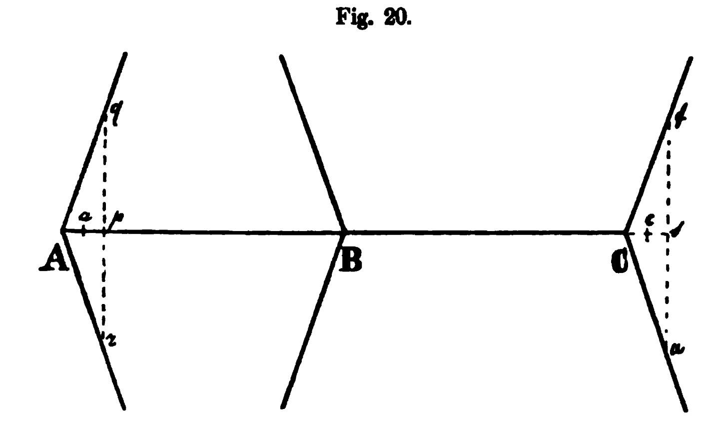
Anhang I.

Berechnung der peripheren Sehschärfe aus der Grösse der optischen Täuschung.

Wir wenden bei diesen Berechnungen die Messungsergebnisse an, welche wir mittelst Fig. *s* erhalten haben. Dieselbe ist hier in Fig. 20 abgebildet.

AB, die constante Vergleichslinie, ist 75 mm lang, die Schenkelwinkel betragen 70°, die Schenkellängen 50 mm. Die Grösse der

Fig. 20.



optischen Täuschung ist nach Tabelle 4 im Mittel $\frac{9,75 + 9,22}{2} = 9,48$ mm. Nehmen wir an, dass *B* fixirt wird, und dass *p* und *q* noch eben von einander getrennt wahrgenommen werden. Weiter sei *a* die Mitte des undeutlich wahrgenommenen Endes bei *A*, und *c* die Mitte des undeutlich wahrgenommenen Endes bei *C*. *Bc* ist *Ba* gleich gemacht, also $AB - BC = 9,48$ mm.

$$Aa = Cc = \frac{9,48}{2} = 4,74 \text{ mm und}$$
$$aB = Bc = 75 - 4,74 = 70,26 \text{ mm.}$$
$$pq = Ap \; tg \; qAp = 9,48 \; tg \; 70^{\circ} = 26,05 \text{ mm.}$$

Wenn die lineare Zeichnung sich in einer Entfernung = 300 mm vom Augenpunkte *O* (Fig. 21) befindet[1]), werden die Punkte *a* und *c*

1) In der Regel wird mit beiden Augen zusammen wahrgenommen. Unter dem Augenpunkte *O* verstehen wir dann die Mitte zwischen den Augen.

in Richtungen gesehen, welche mit der Gesichtslinie OB einen bestimmten Winkel α bilden, und zwar

$$tg\, \alpha = \frac{aB}{OB} = \frac{70{,}26}{300},\ \alpha = 13^{\circ}\ 11'.$$

O befindet sich p etwas näher als s. Wir machen jedoch einen ganz zu vernachlässigenden Fehler, wenn wir anstatt vom Op und Os den Mittelwerth $Oa = Oc$ stellen,

$$Oa = \frac{OB}{\cos \alpha}.$$

Sei g der Winkel, unter welchem pq vom Augenpunkte O aus gesehen wird, dann ist

$$tg\, g = \frac{pq \cos \alpha}{OB},\ \text{und}\ g = 4^{\circ}\ 50'.$$

Aus der Grösse der optischen Täuschung lässt sich also berechnen, dass auf einer $13^{\circ}\ 11'$ vom Fixationspunkte entfernten Stelle im Sehfelde zwei Punkte noch eben getrennt gesehen werden können, wenn sie unter einem Gesichtswinkel $g = 4^{\circ}\ 50'$ erscheinen.

Fig. 21.

Dieselbe Berechnung kann auf einige Wahrnehmungen von Heymans angewendet werden. Dieser maass die Grösse der optischen Täuschung, welche durch eine Müller-Lyer'sche Figur erzeugt wird, deren Schenkelwinkel $= 70^{\circ}$ und deren Schenkellänge von 10 bis 90 mm wechselte. Die constante Vergleichslinie war 75 mm lang. Als Maass für die Grösse der optischen Täuschung nehmen wir 8,59 mm, d. i. der Mittelwerth aus 8 Messungsreihen bei Figuren, deren Schenkellängen 30 mm und grösser waren[1]). Hieraus lässt sich auf ganz dieselbe Weise wie aus meinen eigenen Wahrnehmungen der Grenzwerth für den Gesichtswinkel G_1 berechnen:

$$G_1 = 4^{\circ}\ 22'\ 45''.$$

Dabei ist jedoch der Winkel, welchen die Gesichtslinie mit der Beobachtungsrichtung macht, $\alpha_1 = 13^{\circ}\ 15'\ 45''$. Reducirt für einen Winkel $\alpha = 13^{\circ}\ 11'$, wird

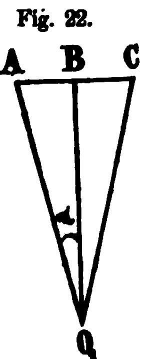
$$g_1 = G_1 \frac{\alpha}{\alpha_1} = 4^{\circ}\ 21'.$$

1) a. a. O. S. 229 Tabelle 4 und S. 230 Tabelle 6.

Nach einer andern Messungsreihe Heymans' ist die durch eine Müller-Lyer'sche Figur (Schenkelwinkel = 50°) verursachte optische Täuschung = 14,3 mm[1]).

Hieraus lässt sich wieder ganz nach derselben oben angewendeten Methode berechnen, dass der Gesichtswinkel $G_2 = 3^\circ\ 10'\ 17''$. Unter diesem Winkel können zwei Punkte noch eben getrennt wahrgenommen werden, wenn die Beobachtungsrichtung einen Winkel $\alpha_2 = 12^\circ\ 44'\ 37''$ mit der Gesichtslinie bildet. Reducirt für eine Entfernung $\alpha = 13^\circ\ 11'$ ist der Grenzwinkel

Fig. 22.



$$g_2 = G_2 \frac{\alpha}{\alpha_2} = 3^\circ\ 17'.$$

Anhang II.

Berechnung der Maxima der ersten und zweiten Art.

In Fig. 22 bedeutet AB die constante Vergleichslinie aus der Müller-Lyer'schen Figur. $AB = 75$ mm. Der Augenpunkt O_1 hat eine solche Stelle, dass $O_1B \perp AB$ und dass $\angle AO_1B = \alpha = 13^\circ\ 11'$. Die Länge von O_1B ist hierdurch bestimmt:

$$O_1B = \frac{AB}{tg\ \alpha} = 320{,}24 \text{ mm, und } O_1A = \frac{O_1B}{cos\ \alpha}.$$

In einer Entfernung α vom Fixationspunkte ist der Gesichtswinkel

g, nach eigenen Wahrnehmungen berechnet $= 4^\circ 50'$,
g_1, „ Wahrnehmungen Heymans' „ (Schenkelwinkel $= 70^\circ) = 4^\circ 21'$,
g_2, „ „ „ „ („ $= 50^\circ) = 3^\circ 17'$,
also g im Mittel $= 4^\circ\ 9'$.

In Fig. 15, S. 20 ist $kA = O_1\ A\ tg\ g = \frac{O_1\ B\ tg\ g}{cos\ \alpha} = 23{,}86$ mm.

---

1) Wir nehmen 14,3 mm zur Basis unserer Berechnung, weil dieser Betrag in eine Reihe von Messungen gefunden wurde, welche bei den ungeübtesten Augen ausgeführt worden war. Hierdurch kann das Ergebniss am besten mit demjenigen unserer eigenen Wahrnehmungen verglichen werden. Vgl. auch Tabelle 1 dieser Abhandlung.

Anhang III.

Umarbeitung der directen Messungen der peripheren Sehschärfe.

Um die Vergleichung zwischen den directen Messungsergebnissen verschiedener Forscher unter einander und zugleich mit den oben von uns berechneten Werthen zu ermöglichen, müssen wir die literarischen Angaben einigermaassen umarbeiten.

Erstens müssen wir den verschiedenen angewendeten Methoden Rechnung tragen, hauptsächlich:

1) dem Gebrauche von Buchstabenproben oder Figuren von Snellen;
2) der Anwendung eines Drahtgitters oder von nahe an einander gerückten Linien oder Flächen, worin der regelmässige Wechsel von Weiss und Schwarz noch eben als solcher erkannt werden muss.

Es treten verschiedene Schwierigkeiten hervor, wenn man die Ergebnisse dieser Methoden direct mit einander zu vergleichen wünscht.

Bei der Anwendung der Buchstabenproben spielt das Errathen nach den schlecht wahrgenommenen Buchstaben eine grosse Rolle, und von den Gittern hat Wertheim[1]) gezeigt, dass die Messung der Sehschärfe verschieden ausfällt, je nach der Grösse des angewendeten Gitters. Weiter sind dünne schwarze Linien, welche durch einen breiten Zwischenraum von einander getrennt sind, schwerer zu erkennen als Linien, welche ebenso breit sind wie die Zwischenräume, wie ich durch eine absichtlich angestellte Untersuchung mittelst drei verschiedener Gitter zeigen konnte.

Gitter I bestand aus 6 parallelen, 0,2 mm breiten, 15 mm langen schwarzen Linien auf weissem Papier, während der Abstand zwischen zwei Linien zusammen mit einer Liniendicke 3 mm betrug. Die Gitter II und III waren nahezu ebenso gross wie I und bestanden aus einer gleichen Anzahl von Linien. Die Liniendicke betrug jedoch bei Gitter II 0,5, bei Gitter III 1,5 mm. Der Abstand zwischen zwei Linien zusammen mit einer Liniendicke betrug immer 3 mm. Bei Gitter III war der Raum zwischen den Linien ebenso gross wie die Liniendicke. Die Messungsergebnisse sind in folgender Tabelle 8 zusammengestellt.

---

1) a. a. O. S. 181.

Die Refractionsanomalien, der untersuchten Personen, worunter auch der Astigmatismus, wurden vorher corrigirt. Indessen kann die Correction niemals vollkommen ausgeführt werden, so dass geringe Grade von Astigmatismus bestehen bleiben und also auf unsere Resultate Einfluss ausüben müssen. In der 2. Reihe der Tabelle sind die Entfernungen erwähnt, in welchen dieselben Personen unter gleichen Umständen Snellen's Buchstabenproben (D = 6 m) erkannten. Die Verhältnisse der Entfernungen des Gitters I und der Buchstaben sind in der letzten Reihe angegeben. Der Mittelwerth dieser Verhältnisse ist 1,497. Bei normalem Visus würden die Buchstaben auf 6 m erkannt werden, also Gitter I im Mittel auf 4 m, was ein paar um 3 mm von einander entfernte Linien unter einem Gesichtswinkel von 2′ 34,5″ erscheinen lässt. Der Bequemlichkeit wegen kann dieser Werth zu 2,5′ abgerundet werden, d. i. gerade die Hälfte des Winkels, unter welchem bei Visus = 1 die Buchstaben erkannt werden können.

Tabelle 8.

Namen des Beobachters	Entfernung, in welcher die Buchstabenproben D=6 erkannt werden, in m (A)	Entfernung, in welcher das Gitter I erkannt wird, in m (B)	Entfernung, in welcher das Gitter II erkannt wird, in m	Entfernung, in welcher das Gitter III erkannt wird, in m	Verhältniss der Werthe der Reihen 2 und 3, $\frac{A}{B}$
v. d. W.	8,6	6,5	7,6	8,0	1,322
W.-E.	6,8	5,5	6,25	6,5	1,236
v. H.	9,8	6,25	7,25	8,0	1,57
Bl.	9,5	5,1	6,0	7,0	1,86

Wir haben besonders den Gesichtswinkel für den Linienabstand des Gitters I bei Visus = 1 berechnet, weil von den drei angewendeten Gittern dieses sicher in Bezug auf das Verhältniss der Liniendicke zu den Zwischenräumen am besten mit einer linearen Zeichnung auf Papier, wie z. B. einer Müller-Lyer'schen Figur, verglichen werden kann. Ausgehend von den oben beschriebenen Ergebnissen und der früher schon näher erwähnten Beziehung zwischen der peripheren Sehschärfe und der Entfernung vom Fixationspunkte haben wir beim Umarbeiten der Messungsergebnisse der verschiedenen Forscher die nachfolgenden Regeln beobachtet:

1) Wenn directe Angabe geschieht vom Gesichtswinkel, unter welchem beim indirecten Sehen zwei Punkte noch getrennt wahrgenommen werden können, wird diese Angabe als Basis für die Berechnung angenommen.

2) Geschieht die Angabe im Winkel, unter welchem Buchstaben erkannt werden, so wird angenommen, dass zwei Punkte noch getrennt gesehen werden, wenn sie unter dem halben Winkel erscheinen.

3) Wenn die Angabe nicht geschieht für 13° 11′ Entfernung vom Fixationspunkte, so wird die nächste Entfernung, für welche die Wahrnehmung erwähnt ist, zur Basis genommen. Hiernach wird die Sehschärfe für eine Entfernung = 13° 11′ berechnet, indem man annimmt, dass der Visus zunimmt umgekehrt proportional der Vergrösserung des Abstandes vom Fixationspunkte.

4) Wenn die periphere Sehschärfe in Bruchtheilen der centralen ausgedrückt wird, wird für diese letztere Visus = 1 angenommen, d. h. zwei Punkte oder Linien einer gewöhnlichen linearen Zeichnung auf Papier werden noch eben getrennt wahrgenommen, wenn sie unter einem Gesichtswinkel von 2′ 30″ gesehen werden.

In den folgenden Formeln nennen wir $\alpha = 13^\circ\, 11'$ die Entfernung vom Fixationspunkte, für welche die indirecte Sehschärfe v berechnet werden muss, α_1 die Entfernung vom Fixationspunkte, für welche die Sehschärfe v_1 gemessen ist. g ist der Winkel, unter welchem zwei Punkte oder Linien, G der Winkel, unter welchem Buchstaben oder Zahlen in einer Entfernung α vom Fixationspunkte noch eben erkannt werden können, während g_1 und G_1 dieselbe Beziehung zu α_1 haben wie g und G zu α.

$$g_1 = {}^1/_2\, G_1 \text{ und } g = {}^1/_2\, G = g_1 \times \frac{\alpha}{\alpha_1}.$$

Aubert a. a. O. S. 239, Tabelle 37, Bogen 1:

$$\alpha_1 = \frac{27^\circ\, 2'}{2},\ G_1 = 3^\circ\, 42',$$
$$\text{also } g = 1^\circ\, 48'.$$

Volkmann, vgl. **Aubert** a. a. O. S. 237:

$$\alpha_1 = 8^\circ,\ g_1 = 3^\circ\ 46',$$
$$\text{also } g = 6^\circ\ 12'.$$

Hueck, vgl. **Aubert** a. a. O. S. 237:

$$\alpha_1 = 14^\circ,\ g_1 = 14'\ 55'',$$
$$\text{also } g = 14'\ 2'',$$

Dobrowolsky und **Gaine** a. a. O. S. 416:

$$\text{I für } \alpha = 13^\circ\ 11' \text{ ist } v = \pm \frac{1}{20}, \text{ also } g = 0^\circ\ 50',$$

$$\text{II für } \alpha = 13^\circ\ 11' \text{ ist } v = \pm \frac{1}{70}, \text{ also } g = 2^\circ\ 55'.$$

Schadow, **Pflüger's** Arch., Bd. 19 S. 456:

für $\alpha_1 = 15^\circ$ wechselt v_1 zwischen $\frac{1}{5}$ und $\frac{1}{20}$,

also g_1 „ $0^\circ\ 12'\ 30''$ und $0^\circ\ 50'$,
und g „ $0^\circ\ 11'$ „ $0^\circ\ 44'$.

Königshofer, vgl. **Schadow** a. a. O. S. 451:

für $\alpha_1 = 15^\circ$ wechselt v_1 zwischen $\frac{1}{50}$ und $\frac{1}{100}$,

also g_1 „ $2^\circ\ 5'$ und $4^\circ\ 10'$,
und g „ $1^\circ\ 50'$ „ $3^\circ\ 40'$.

Dor, vgl. **Schadow** a. a. O. S. 451:

$$\text{für } \alpha_1 = 15^\circ \text{ ist } v_1 = \frac{1}{30},$$
$$\text{also } g_1 = 1^\circ\ 15' \text{ und } g = 1^\circ\ 6'.$$

Wertheim a. a. O. S. 182:

für $\alpha_1 = 15^\circ$ ist v_1 medial 0,143
oben 0,095
unten 0,093
im Mittel 0,11,

also $g_1 = 0^\circ\ 22'\ 44''$ und $g = 0^\circ\ 20'$.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Genf.)

Beiträge zur Rückenmarksphysiologie der Amphibien und Reptilien.

Von

Adolf Bickel.

(Mit 2 Textfiguren.)

Zu der nachfolgenden Untersuchung haben mich die Experimente Rosenthal's über den Reflexvorgang beim Frosche angeregt.

Rosenthal fand[2]), dass die Zeit, welche zwischen dem Beginn der sensibelen, peripherischen Erregung und der ihr folgenden Muskelzuckung verstreicht, von drei Bedingungen abhängig ist, nämlich

1) von der Stärke des Reizes,
2) von dem peripherischen Ort der Reizung,
3) von der Stelle, wo der Reiz im Centralorgan von der Endigung der sensibelen Nervenfaser zur motorischen Ganglienzelle übertritt.

In Bezug auf den Einfluss, den die Reizintensität auf diese Zeit ausübt, fand Rosenthal, dass diese Zeit um so kürzer wird, je stärker der angewandte Reiz ist.

Was den Einfluss des peripherischen Ortes der Reizung auf die Zeit zwischen Reizung und Reflexzuckung anlangt, so stellte dieser Forscher fest, dass diese Zeit um so kürzer wird, je näher die gereizte Körperstelle am Centralorgan liegt.

Die dritte Bedingung, welche die oben genannte Zeit nach Rosenthal beeinflussen soll, hängt von dem Ort im Centralorgan ab, an welchem der Uebergang des Reizes von der Endausbreitung der sensibelen Nervenfasern auf die motorischen Nervenzellen stattfindet. Folgende Versuche haben Rosenthal zu dieser Anschauung geführt.

Es wurde ein Reiz gewählt, der, auf eine Hinterextremität eines entgrosshirnten Frosches applicirt, eben gerade noch eine Zuckung in dem anderen Beine dieses Präparates hervorrief. („Ausreichender Reiz.") Wurde nun demselben Thiere das Rückenmark der Länge nach in dem Bezirke gespalten, wo die von der peripheren Reizstelle

herkommenden Nerven in dasselbe inseriren, und wo die zu der reagirenden Muskulatur der gekreuzten Extremität hinreichenden motorischen Nerven austreten, so wurde durch den „ausreichenden Reiz" genau in derselben Weise die Zuckung in der gekreuzten Extremität hervorgerufen, wie vor der Längsspaltung des Rückenmarks. Hatte man aber bei einem enthirnten Frosche das Rückenmark anstatt an jener oben bezeichneten Stelle in der Höhe des oberen Halsmarkes längsgespalten, so ergab sich, dass der Reiz, welcher vor dieser Operation eben ausreichte, eine Reflexzuckung in der gekreuzten Extremität hervorzurufen, nunmehr zu schwach war, und dass in Folge dessen überhaupt keine Muskelreaction mehr der sensibelen Erregung folgte. Erst mit beträchtlicher Verstärkung des Reizes trat die Reflexzuckung wieder auf.

Aus diesen Fundamentalversuchen schloss dann Rosenthal, dass beim Frosch normaler Weise die Reflexe im Allgemeinen und insbesondere auch diejenigen der hinteren Extremitäten durch das Halsmark übermittelt würden, d. h. es fände hier die Umwerthung der sensibelen Erregung in den motorischen Impuls gewöhnlich statt.

Wenn nun bei unversehrtem Halsmark ein geringerer Reiz nothwendig ist, um die gleiche Reflexbewegung hervorzurufen, als in dem Fall, wo das Halsmark theilweise ausser Function gesetzt worden war durch die Längsspaltung, so könnte man sich diese Erscheinung so erklären, dass durch den operativen Eingriff am Halsmark eine Shockwirkung auf die tiefer gelegenen Rückenmarkspartieen ausgeübt würde, die dann eine Leitungserschwerung in diesen Gebieten zur Folge hätte. Diesem Einwurf begegnet aber sofort das zweite Rosenthal'sche Experiment, welches aussagt, dass der ausreichende Reiz auch dann noch zum Hervorrufen des oben beschriebenen Reflexes genügte, wenn das Rückenmark des Frosches in den tieferen Regionen, und zwar an der Stelle, wo die bei dem Versuch in Frage kommenden sensibelen und motorischen Nerven in dasselbe einmünden resp. aus ihm heraustreten, der Länge nach gespalten war. Würde es sich also bei der Durchtrennung des Halsmarkes um eine Shockwirkung auf die tiefer liegenden Rückenmarkspartieen handeln und wäre dadurch die Erschwerung in der Leitungsfähigkeit des Rückenmarks bedingt, so müsste doch vor allen Dingen eine solche Leitungserschwerung auftreten, wenn in unmittelbarer Nähe der Austritts- resp. Einmündungsstellen der bei dem Versuch in Frage kommenden

Nerven das Rückenmark längsgespalten war. Wie aber aus dem Rosenthal'schen Versuch hervorgeht, trat eine derartige Erschwerung in der Leitung nach dieser Operation nicht ein.

Wie schon gesagt, hätten wir uns nach diesen Experimenten die Leitungsverhältnisse im Froschrückenmark so vorzustellen, dass die normaler Weise benützte Verbindung zwischen sensibelem Endapparat und motorischer Ganglienzelle — eine solche Verbindung ist ja zum Zustandekommen eines jeden Reflexes nothwendig — für den in Frage kommenden im Halsmark gelegen sei. Man müsste sich denken, dass diese Brücken des Halsmarks und die Bahnen, welche sie mit den bei unserem Versuch in Frage kommenden Spinalnerven verknüpfen, besonders leicht gangbar, für die nervöse Erregung besonders wegsam seien. Aber nicht nur im Halsmark würden derartige Brücken, würden die Verbindungen der sensibelen und motorischen Nerven liegen, auch in den tieferen Theilen des Rückenmarks müssten wir solche antreffen. Diese letzteren müssten unter gewissen Umständen für die ersteren functionell eintreten können. Das fordern auch die Rosenthal'schen Versuche. Aber diese mehr caudal im Rückenmark befindlichen Verbindungswege sind schwerer passirbar für die nervöse Erregung als die im Halsmark gelegenen. Darauf deutet das Rosenthal'sche Experiment gleichfalls hin. Denn nur so ist es zu erklären, dass nach Unterbrechung der Brücken des Halsmarks stärkere Reize nothwendig werden, um den gleichen Reflex zu erzeugen, als wenn jene noch erhalten sind. Mit anderen Worten, Frösche — und wenn man die Resultate der Rosenthal'schen Versuche, wie Rosenthal scheinbar will, auf das ganze Wirbelthierreich anwendet — Wirbelthiere, welchen das Centralorgan an der Stelle, wo die Medulla spinalis in die oblongata übergeht, total quer durchschnitten ist, müssen am Hinterkörper durch geringere Reize zu Reflexbewegungen veranlasst werden können, als Thiere, denen man das Rückenmark an einem tiefer gelegenen Punkte, etwa in seinem Brusttheile durchtrennt hat.

Hier schienen sich nun Beobachtungen, welche andere Forscher bei Thieren mit quer durchschnittenem Rückenmark angestellt hatten, der Beobachtung Rosenthal's feindlich entgegen zu stellen.

An erstem Orte muss der Versuche von Goltz[11]) gedacht werden, der bei seinen Hunden, denen das Centralorgan im Brust- und Lendenmark quer durchschnitten war, nach Ablauf der Wundreaction eine erstaunlich leichte Reflexerregbarkeit an dem Hinterkörper dieser Thiere wahrnahm. Die Leichtigkeit, mit der man bei

diesen Thieren durch die geringfügigsten Reize Reflexbewegungen entfesseln konnte, schien es auszuschliessen, dass bei Hunden, denen man das Rückenmark an seinem Uebergang in die Medulla oblongata durchschneiden würde — eine bei Säugethieren allerdings unmögliche Operation! —, diese dort beobachtete Reflexerregbarkeit noch übertroffen würde. Sie müsste übertroffen werden, hätten die Rosenthal'schen Experimente am Frosch auch für den Hund Gültigkeit.

Durch diesen Widerspruch schien die Beweiskraft der Rosenthal'schen Versuche erschüttert zu sein trotz der Cautelen, die der Verfasser bei denselben walten liess. Darum stellte ich mir zunächst einmal die Aufgabe, die Ergebnisse, zu denen Rosenthal durch seine Versuche am Frosch gelangte, auf's Neue experimentell an diesem Thiere zu prüfen und dann auch diese Untersuchungen auf höher stehende Thierarten auszudehnen.

Wenn es richtig ist, dass die durch das Halsmark ziehenden Verbindungen zwischen sensibeler Endausbreitung und motorischer Ganglienzelle für den nervösen Impuls fahrbarer sind als die Brücken, welche im Rückenmark in dem Niveau des Ein- resp. Austritts der bei der Reflexzuckung des Hinterbeines in unserem Versuch in Frage kommenden Nerven gelegen sind, dann muss folgendes Experiment diese Theorie bestätigen.

Man stellt zwei Frösche dar, von denen dem einen das Centralorgan am Uebergang der Medulla spinalis in die medulla oblongata, dem anderen aber das Rückenmark zwischen dem vierten und fünften Wirbel quer durchschnitten ist. Das erste Thier besitzt dann noch die durch das Halsmark ziehenden Verbindungen der sensibelen und motorischen Organe seiner Hinterextremitäten. Der zweite Frosch hat diese Halsmarkbrücken nicht mehr. — Die Thiere werden untersucht, nachdem gleiche Zeiträume nach der Operation, z. B. 72 Stunden, verflossen sind. Nun wird ein mittelstarker Reiz von genau bekannter Dauer und Intensität genommen, und zwar ein Reiz, der bei dem Frosch mit tief durchschnittenem Rückenmark bequem ausreicht, eine gewünschte Reflexbewegung hervorzurufen. Es wurde immer die Schwimmhaut der einen Hinterextremität gereizt und die darauf folgende Zuckung der ganzen gekreuzten Hinterextremität durch einen mit einer Zehe dieses ausgestreckten Beines in Verbindung stehenden Apparat registrirt. So war in allen Fällen die Stärke und der Ort der Reizung gleich. Die Zeit, welche zwischen Beginn der Reizung und

Anfang der ihr folgenden Muskelreaction verstrich, wurde genau gemessen. Auf diese Weise wurden die beiden Froschpräparate, welche ich oben beschrieb, untersucht.

Der Frosch, welchem das Centralorgan am unteren Ende der Medulla oblongata durchschnitten war, bot nach unserer Theorie dem von der einen Hinterextremität ankommenden Reize ausgefahrenere Bahnen für den centralen Umsatz dar, als das andere Thier. Aber diese leichter gangbaren Wege müssen, da sie zu dem Halsmark aufsteigen, länger sein, als die schwerer wegsamen, welche der Frosch mit tief durchschnittenem Rückenmark dem centralen Umsatz darbietet. Es leuchtet nun ein, dass bei gleicher Reizstärke und gleichem peripheren Ort der Reizung*) die Zeit, welche zwischen Reizeintritt und Beginn der Muskelreaction verstreicht, von dem Weg, welchen der Reiz im Centralorgan zurücklegt, und von der Leitungsfähigkeit dieser im Centralorgan benutzten Bahnen direct abhängig ist. Ist die Leitungsfähigkeit bei zwei ungleich langen Bahnen dieselbe, so braucht der Reiz, um die längere Bahn zu durchlaufen, mehr Zeit, als bei der kürzeren Bahn. Ist aber die Leitungsfähigkeit der kürzeren Bahn geringer, als die der längeren Bahn, so ändert sich dieses Verhalten der Zeit. Je unwegsamer die kürzere Bahn ist, um so länger dauert es, bis der Reiz sie durchlaufen hat.

Diese Verhältnisse liegen nun nach der Rosenthal'schen Theorie bei unseren beiden Froschpräparaten vor:

Der Frosch mit hoch durchschnittenem Rückenmark (Durchschneidung am Uebergang der Medulla oblongata in die Medulla spinalis) bietet dem von dem einen Bein herkommenden Reiz längere Bahnen zum centralen Umsatz dar als der andere Frosch. Aber die langen Bahnen des ersten Thieres sind wegsamer, als die kurzen des anderen. Ist nun die Zeit, welche zwischen Reizeintritt und Muskelreaction verstreicht, bei dem Frosch mit hoch durchschnittenem Rückenmark kürzer, als die Zeit, welche wir bei dem anderen Thiere finden, so kann diese Zeitdifferenz nur auf die verschiedene Leitungsfähigkeit der beiden Bahnsysteme bezogen werden. Denn wenn man sagen wollte, dass darum bei dem Frosch mit tief durchschnittenem Rückenmark die Zeit für den bekannten Reflex länger sei als bei dem anderen Thiere, weil die Wunde um

*) Es wurde auch darauf gesehen, dass die gemeinsam untersuchten Thiere annähernd gleich gross waren.

so viel näher dem Ursprung der bei dem Reflex in Betracht kommenden Spinalnerven angelegt wird, so widerlegt diesen Einwand der Shockwirkung meiner Meinung nach das oben bereits angeführte Rosenthal'sche Experiment. — Auch bürgt die Zeit, welche ich nach der Operation verstreichen liess, ehe ich die Thiere untersuchte, dafür, dass ein hemmender Einfluss, der von der Operationswunde ausginge, nicht wahrscheinlich ist.

Die Schwierigkeiten, welche sich nun der praktischen Ausführung dieses Versuches entgegenstellten, waren ganz erhebliche.

Zunächst galt es, einen Apparat zu construiren, der für alle Versuche den gleichen, nach Zeit und Intensität wohl abgegrenzten Reiz lieferte, und diesen Reiz, wenigstens das Eintreten desselben, graphisch zur Anschauung brachte. — Ferner musste die reflectorische Zuckung des Beines markirt werden, und es musste nachgewiesen werden, dass die jeweilige Zuckung auch wirklich eine reflectorische war, dass man sie nicht, da ich elektrisch reizte, auf eine directe Einwirkung von Stromschleifen auf die peripheren Nervenstämme der zuckenden Extremitäten zurückführen konnte.

Um möglichst einwurfsfreie Resultate zu erhalten, war ich gezwungen, die Bewegung einer ganzen Extremität zu benutzen und alles zu energische Fixiren des Thieres, wodurch etwa Wunden erzeugt wurden, zu vermeiden. Denn es ist klar, dass, wenn man die Bewegung eines einzigen Muskels etwa hätte registriren oder das zur Aufzeichnung der Bewegung benutzte Bein vielleicht mit Nadeln, die den Femur durchbohrten, auf der Unterlage hätte fixiren wollen, um so etwaigen passiven Bewegungen dieser Extremität vorzubeugen, dass dann der erzeugte Wundreiz allein genügt haben würde, die Ergebnisse meiner Versuche unsicher zu machen. Denn dass periphere Reize reflexhemmend wirken können, darauf brauche ich näher an dieser Stelle nicht einzugehen.

Versuchsanordnung.

Folgenden Apparat, wie er ähnlich auch schon von anderen Autoren (Helmholtz, Exner, Wundt, Ewald) zur Messung der Reflex- resp. Reactionszeit benutzt wurde, hatte ich mir für meine Versuche zusammengestellt.

Auf einem rotirenden Cylinder (Fig. 1, *a*) wird in der Mitte der Oberfläche ein Näpfchen aus Kork (Fig. 1, *b*) angebracht, welches Quecksilber enthält. In dieses Quecksilber taucht einerseits ein Draht

(Fig. 1, *g*) ein, der um den oberen Rand des Cylinders herumläuft (Fig. 1, *h*) und an einer Stelle in eine schmale Metallplatte (Fig. 1, *c*)

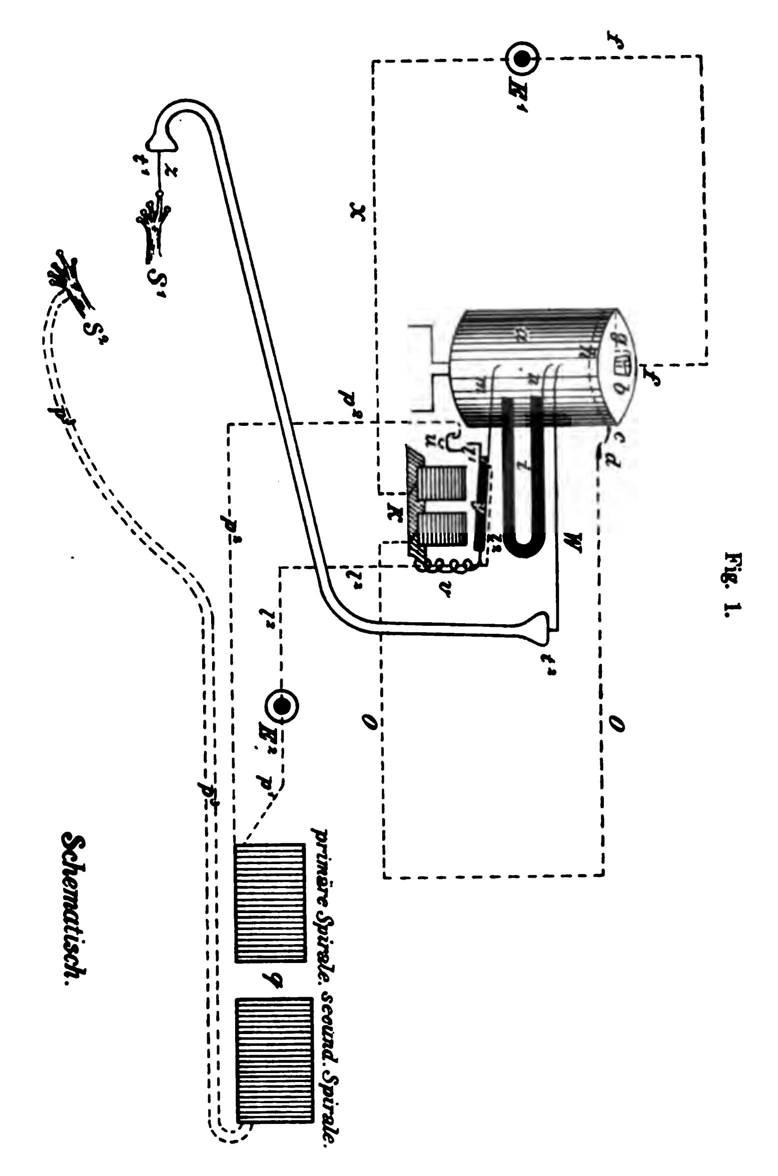


Fig. 1.

sich ausbiegt. Von oben aber senkt sich gleichfalls in das Quecksilber des Korkschälchens (*b*) ein zweiter Draht (Fig. 1, *f*) ein, der durch ein Stativ fixirt wird und sich von hier aus zu einem elektrischen Element (Fig. 1, E_1) begibt. Von diesem selben Element führt

ein anderer Draht (Fig. 1, *x*) zu einem kleinen Elektromagneten (Fig. 1, *k*), der seinerseits durch einen Kupferdraht (Fig. 1, *o*) mit einer Metallspitze (Fig. 1, *d*) in Verbindung steht. Diese Spitze (*d*) ist in der Nähe des oberen Randes des rotirenden Cylinders nun so angebracht, dass bei der Rotation die Metallplatte (*c*) des Cylinders (*a*) von jener Spitze (*d*) nothwendig gestreift werden muss.

Durch diese Berührung der Spitze (*d*) mit der Metallleiste (*c*) wird ein Strom geschlossen, der von dem Element (E_1) durch den Draht (*f*) in das Quecksilbernäpfchen (*b*) geht, von hier durch die Drähte (*g* und *h*) und die Metallplatte (*c*) in die Spitze (*d*) überströmt, sich vermittelst des Drahtes (*o*) durch den Elektromagneten (*k*) begibt und dann durch den Draht (*x*) zum Element (E_1) zurückkehrt. In Folge dessen wird die Deckplatte (Fig. 1, *y*) des Elektromagneten, die gewöhnlich durch ihre Feder (Fig. 1, *v*) über den beiden Säulen des Elektromagneten schwebt, herunter gezogen. Sie bleibt so lange unten und wird so lange von den Säulen angezogen, als der Elektromagnet in Thätigkeit ist, als der elektrische Strom, dessen Weg wir oben beschrieben, sich in Action befindet. Es ist nun klar, dass bei gleichmässiger Drehung des Cylinders (*a*) die Dauer des Contacts zwischen der Metallleiste (*c*) und der Spitze (*d*) stets die gleiche ist. In Folge dessen wird also jedesmal zeitlich genau der gleiche Strom durch den Elektromagneten geschickt, so dass mithin bei jeder Drehung des Cylinders einmal und bei allen Drehungen immer genau gleichlang die Deckplatte (*y*) des Elektromagneten (*k*) herabgesenkt wird. Sobald der Strom des Elements (E_1) dadurch unterbrochen wird, dass der Contact zwischen den beiden Metallstücken (*c* und *d*) in Folge der Cylinderrotation aufhört, schnellt die Deckplatte (*y*) des Elektromagneten (*K*), dem Zug der Feder (*v*) nachgebend, in die Höhe. Diese Deckplatte des Elektromagneten besitzt nun einmal eine Spitze (Fig. 1, *m*), welche auf dem rotirenden Cylinder den Augenblick fixiren kann, in dem der Magnet vom elektrischen Strom durchflossen wird, d. h. indem die Deckplatte sich herabsenkt. Zu gleicher Zeit besitzt aber diese selbe Deckplatte noch eine zweite Spitze und zwar aus Metall (Fig. 1, l_1), die abwärts zeigt und durch einen Draht (Fig. 1, l_2) mit einem zweiten Element (Fig. 1, E_2) in Verbindung steht. Von diesem Element (E_2) geht nun andererseits ein Draht (Fig. 1, p_1) nach der primären Spirale eines Inductionsapparates (Fig. 1, *q*). Von hier aus begibt sich ein zweiter Draht (Fig. 1, p_2) nach einem Porzellannapf (Fig. 1, *u*) und taucht in das darin ent

haltene Quecksilber ein. Diese Porzellanschale befindet sich nun dicht unter jener Metallspitze (l_1) der Deckplatte des Elektromagneten, und zwar ist sie derart angebracht, dass diese Metallspitze (l_1) bei herabgesenkter Deckplatte (y) eben in das Quecksilber des Näpfchens (g) eintaucht.

Durch die Berührung des Quecksilbers des Näpfchens (g) mit der Metallspitze (l_1) wird nun abermals ein Strom geschlossen, der sich von dem Element (E_2) durch den Draht (p_1), die primäre Spirale des Inductionsapparates (q), von hier durch den Draht (p_2) nach der mit Quecksilber gefüllten Schale (u) begibt und von dort durch die Spitze (l_1) und den Draht (l_2) zu dem Element (E_2) zurückkehrt. Da nun bei jeder Rotation des Cylinders (a), wie wir oben sagten, die Zeit dieselbe ist, während der jedes Mal die durch den Contact von „c" und „d" hervorgerufene Anziehungskraft des Magneten besteht und mithin auch die Zeit immer die gleiche ist, während der die Deckplatte (y) sich herabgesenkt befindet, so ist auch bei jeder Rotation des Cylinders die Zeit stets genau dieselbe, während der die Spitze (l_1) in das Quecksilber des Näpfchens (g) eintaucht. In Folge dessen werden also auch stets mit grosser Genauigkeit die gleichen Ströme bei jeder Cylinderrotation durch die primäre Spirale des Inductionsapparates geschickt, und es werden somit auch immer Ströme von gleicher Stärke und Dauer in der secundären Spirale inducirt. Diese Ströme der secundären Spirale werden zur Reizung des Thieres verwandt. Bei gleichem Rollenabstand und gleicher Drehungsgeschwindigkeit des Cylinders müssen auch sie allemal gleich sein.

Die Muskelreaction, welche dieser Reiz bewirkt, wird folgendermaassen zur Anschauung gebracht. Nach Art der Marey'schen Sphygmographen habe ich eine Einrichtung getroffen, die darin besteht, dass eine mit einer Membran überzogene Trommel (Fig. 1, t_1), durch einen Gummischlauch mit einer zweiten Trommel (Fig. 1, t_2) in Verbindung steht. Die Membran dieser zweiten Trommel vermag durch ihre eigene Bewegung einen Zeiger (Fig. 1, w) auf und nieder steigen zu lassen, wie wir das beim Marey'schen Sphygmographen gleichfalls haben. Dieser Zeiger schreibt auf dem rotirenden Cylinder.

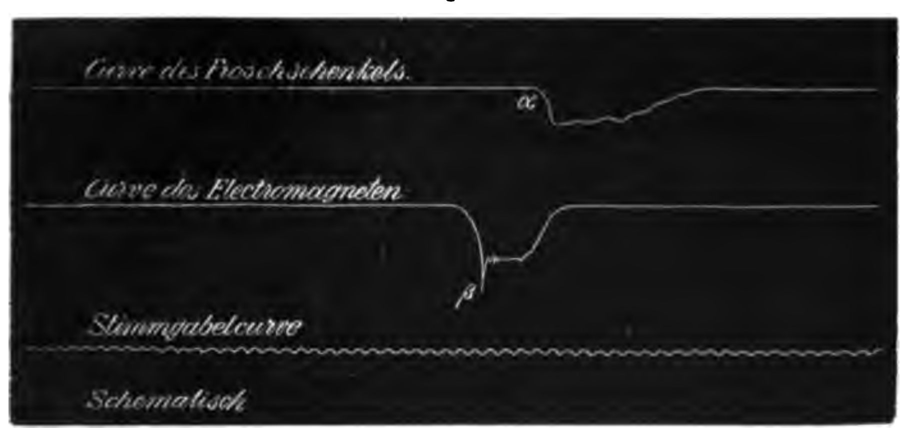
Die Membran der Trommel (t_1) steht ihrerseits aber durch einen Faden (Fig. 1, s) mit dem Theil des Versuchthieres in Verbindung, dessen Bewegung registrirt werden soll. Dadurch, dass durch Muskelcontraction sich der Faden (s) der Trommel (t_1) mehr spannt, wird

die Membran der Trommel (t_1) etwas nach Aussen gezogen; mithin senkt sich die Membran der Trommel (t_2), und der Zeiger (*w*) markirt dieses auf dem rotirenden Cylinder (*a*) durch eine abwärts steigende Curve.

Endlich zeichnet auf dem berussten Cylinder (*a*) noch eine Stimmgabel (Fig. 1, *i*) mit ihrer Spitze (Fig. 1, *n*) die Zeit auf (1/200 Secunde), damit die Drehungsgeschwindigkeit des Cylinders jedes Mal controlirt werden kann.

Zur Ausführung des Experimentes bringt man nun die drei Spitzen, nämlich die der Stimmgabel (*n*), die des Elektromagneten (*m*) und endlich die der Trommel (*w*) in eine Verticale derart, dass

Fig. 2.



sie sämmtlich die berusste Oberfläche des Cylinders berühren. Nun lässt man den Cylinder einmal rotiren. Man erhält hierdurch drei Curven, die der Stimmgabel, welche uns die Rotationsgeschwindigkeit des Cylinders controliren lässt, die Curve der Spitze des Elektromagneten, die an ihrer tiefsten Stelle uns den Moment des Eintritts der Reizung anzeigt, weil erst bei tiefster Lage der Deckplatte des Elektromagneten der Draht (l_1) in das Quecksilber der Schale (*g*) eintaucht, und endlich die Curve des mit dem Versuchsthier in Verbindung stehenden Hebels, welche uns an der Stelle, wo sie sich herabzuneigen anfängt, den Beginn der reflectorischen Muskelreaction ankündigt. Diese Curven sind in Figur 2 gemeinschaftlich dargestellt. Je grösser also der Abstand des Punktes, an dem die Curve des mit dem Muskel in Verbindung stehenden Hebels sich zu neigen anfängt (Fig. 2, *α*), von dem Punkte ist,

welcher durch die herabgesenkte Deckplatte des Elektromagneten markirt wird (Fig. 2, β), desto länger ist naturgemäss die Zeit, welche zwischen Eintritt des Reizes und dem Beginn der Muskelreaction verläuft.

Mit Hülfe dieses Apparates kann man also einmal immer genau denselben Reiz, was Dauer und Stärke anlangt, auf die Präparate einwirken lassen, zweitens aber gestattet der Apparat zugleich die Zeit zu fixiren, welche zwischen dem Beginn dieses wohlbegrenzten Reizes und dem Beginn der auf ihn folgenden Muskelreaction bei verschiedenen Untersuchungsobjecten verstreicht.

Als Reflex zur Registration benutzte ich, wie schon gesagt, die Zuckung einer ganzen linken hinteren Extremität bei Reizung der Schwimmhaut des rechten Hinterbeins. Die Enden der mit der secundären Spirale in Verbindung stehenden Drähte (Fig. 1, p_2) wurden der Schwimmhaut einfach aufgelegt. Wie es Fig. 1 zeigt, wurde der von der Trommel (t_1) ausgehende Faden an einer Zehe des Thieres an der linken Hinterextremität (Fig. 1, s_1) angebunden und dann mit der betreffenden Extremität leicht gespannt. Das andere Bein, auf dessen Fuss (Fig. 1, s_2) ich den Reiz applicirte, wurde wie das ganze übrige Thier auf eine Korkplatte durch Nadeln folgendermaassen fixirt.

Das Versuchsthier lag auf dieser Korkplatte auf dem Bauch. Alle vier Extremitäten waren ausgestreckt. An den Rändern des Thieres waren Nadeln in kurzen Abständen senkrecht in den Kork gesteckt; nur die Extremität, welche ihre Zuckung aufschrieb, blieb frei. So war der Frosch von einem hohen Zaune umgeben, der sich genau den Körpergrenzen des Thieres anpasste. Ausserdem wurden einige Nadelpaare, die man gegenübersteckte, an den Rändern des Thieres derart schräg in der Korkunterlage befestigt, dass sich immer je zwei dieser Nadeln über dem Rücken oder über den drei fixirten Extremitäten des Thieres kreuzten. Auf diese Art wurde eine ziemlich sichere Fixation des Frosches bewirkt, und man konnte ziemlich sicher sein, dass nur durch eine active Bewegung der Extremität (s_1) eine erhöhte Spannung des Fadens (z) erfolgte.

Um jedoch ganz bestimmt jeden Fehler auszuschliessen und mich zu vergewissern, dass ich echte reflectorische Zuckungen registrirt hatte, zerstörte ich häufig, wenn ich die Curven eines Thieres aufgenommen hatte, diesem das Rückenmark und überzeugte mich, dass

nach dieser Operation die vorher beobachtete Reaction der Pfote bei gleichem Versuchsarrangement ausfiel. So glaubte ich, wie gesagt, ganz sicher sein zu dürfen, dass ich es mit echten Reflexbewegungen der einen Extremität bei elektrischer Reizung der anderen zu thun hatte.

Experimente.

a) Versuche am Frosch.

1) Ich stellte eine Gruppe von Fröschen dar, denen ich das ganze Gehirn incl. Cerebellumleiste bis zum Kopfmark exstirpirt hatte. Die Thiere besassen also nur noch Rückenmark und Medulla oblongata. Die Lungenathmung war trotz des Eingriffes gut erhalten, und die Thiere wiesen bald jene grosse Bewegungslebhaftigkeit auf, welche derartig operirte Frösche charakterisirt. Sie krochen rastlos in ihrem Bassin herum und zeigten einige Tage nach der Operation die erhöhte Reflexerregbarkeit an allen Gliedmaassen.

2) Einer zweiten Gruppe von Fröschen hatte ich das Centralorgan an der Stelle quer durchtrennt, an welcher die Medulla oblongata in das Rückenmark übergeht. Das ist also etwas unterhalb des calamus scriptorius. Diese Frösche besassen demgemäss für den Hinterkörper nur noch das Rückenmark. Auch bei ihnen war die Athmung keineswegs gestört. Dagegen hatte die Bewegungsfähigkeit der Vorderextremitäten eine kleine Einbusse erlitten. Die Hinterbeine hielten diese Thiere gewöhnlich dicht an den Körper angezogen. Ihr Bewegungsmechanismus erwies sich vollkommen unbeschädigt.

3) Bei einer dritten Anzahl von Fröschen hatte ich endlich das Rückenmark zwischen dem vierten und fünften Wirbel durchschnitten. Auch diese Thiere überstanden die Operation gut und zeigten bald die erhöhte Reflexerregbarkeit an den hinteren Extremitäten. Sie hielten diese meist an den Körper adducirt und beantworteten Reize, welche man auf sie einwirken liess, in der lebhaftesten Weise.

Ich muss noch anfügen, dass ich meine Experimente während des Winters ausführte und so nur Winterfrösche benutzen konnte. —

Hier hatte ich also drei verschiedene Gruppen von Präparaten, bei denen sämmtlich einmal — soweit man das überblicken kann — die Shockwirkung in Folge der Operation verstrichen war und bei denen andererseits sich die erhöhte Reflexerregbarkeit des Hinterkörpers eingestellt hatte.

Ich untersuchte nun die Thiere folgendermaassen. Ich wählte von jeder Gruppe ein Präparat derart aus, dass die Zeit, welche zwischen der Operation und der Untersuchung lag, bei diesen drei Thieren genau die gleiche war. So untersuchte ich einmal drei Thiere dieser drei Gruppen, bei denen drei Tage, ein anderes Mal solche, bei denen vier Tage etc. nach der Operation verstrichen waren. Von jedem einzelnen Thiere nahm ich fünf bis acht Curven auf, deren Gleichartigkeit mir bewies, dass ich es immer mit derselben Bewegung zu thun hatte, zerstörte dann dem Thier das Mark, um mich zu überzeugen, dass ich echte Reflexe registrirt hatte, und berechnete darauf das Mittel dieser Curven für jedes einzelne Thier. Diese fünf bis acht Curven von einem Thiere differirten mitunter etwas, jedoch nie in erheblichem Maasse. Diese Mittelwerthe, welche ich für die Thiere einer ganzen Gruppe so erhielt, wurden abermals addirt und ihr Durchschnittswerth berechnet. So erhielt ich einen Werth für jede der drei Gruppen meiner Froschpräparate.

Dieser Werth gab mir für jede Gruppe die Zeit an, welche bei gleichem Reiz verstreicht zwischen Reizanfang und Beginn der Muskelreaction. Die Stelle der Application des Reizes, wie die registrirte Muskelbewegung waren bei allen Thieren dieselben. Auch nahm ich darauf Rücksicht, dass die Grösse der jedes Mal gemeinsam untersuchten Thiere der drei Gruppen annähernd die gleiche war.

Ich fand nun, dass für den oben bezeichneten Reflex bei den Fröschen, welchen ich das Rückenmark zwischen dem 4. und 5. Wirbel durchschnitten hatte, die Zeit zwischen Reizanfang und Muskelreaction bedeutend grösser ist als bei Fröschen, denen ich das Centralorgan an der Uebergangsstelle der Medulla oblongata in die Medulla spinalis durchtrennt hatte.

Andererseits aber beobachtete ich, dass nur ein kleiner Unterschied besteht in der Zeit, welche verfliesst zwischen Reizeintritt und Bewegungsreaction bei den Thieren, die Rückenmark und Medulla oblongata, und solchen, die nur noch das ganze Rückenmark für den Hinterkörper besitzen.

Die Zeit zwischen Reizeintritt und Muskelreaction bei gleicher Reizstärke, gleichem Reizort und gleicher Reflexzuckung ist bei den Fröschen meiner ersten Gruppe nur sehr wenig kürzer als die bei der zweiten;

dagegen ist diese Zeit unter den oben genannten Bedingungen bei der zweiten Gruppe ganz erheblich kürzer als bei der dritten Gruppe.

b) Versuche an Eidechsen.

An grossen südländischen Eidechsen von 30—35 cm Länge stellte ich gleichfalls entsprechende Versuche an. Allerdings beschränkten diese sich auf das Rückenmark dieser Thiere allein.

Ich hatte zwei Gruppen von Eidechsen dargestellt, bei deren ersterer das Rückenmark hoch oben, etwas cranial vom Austritt des Armplexus durchschnitten war, während ich bei der anderen das Rückenmark etwa 5 mm oberhalb des Austrittes des Beinplexus durchtrennt hatte.

Auch hier untersuchte ich in derselben Weise, wie beim Frosch. von beiden Gruppen immer zwei Eidechsen, bei denen die gleiche Zeit seit Ausführung der Operation verstrichen war. Die Anordnung des Versuches war genau dieselbe, wie ich sie beim Frosch getroffen hatte. Allerdings sei erwähnt, dass ich die beiden Elektroden, welche die Reizung bewirkten, in das Unterhautzellgewebe der einen Pfote einführen musste, da der mächtige Schuppenpanzer der Thiere der ausgewählten elektrischen Erregung einen derartigen Widerstand entgegensetzte, dass sie nicht mehr stark genug war, um in der gekreuzten Pfote eine Reaction auszulösen. Auch hier versicherte ich mich, dass ich es mit wirklichen Reflexbewegungen zu thun hatte.

Es sei endlich noch darauf hingewiesen, dass auch bei den Eidechsen, nachdem drei bis vier Tage seit der Operation verstrichen waren, die bekannte erhöhte Reflexerregbarkeit sich am Hinterkörper eingestellt hatte und dass bei den Thieren mit tief durchschnittenem Rückenmark die Bewegungsfähigkeit der Hinterbeine keine quantitative Einbusse erlitten hatte. Bei allen Versuchsthieren war die Athmung selbstredend wohl intact geblieben.

Ich beobachtete nun, dass bei gleicher Reizstärke, gleichem Reizort und gleicher Reflexzuckung die Zeit zwischen Reizeintritt und Muskelreaction bei den Thieren, welche fast das ganze Rückenmark noch besassen, **viel kürzer** war, als bei den Eidechsen, welchen ich das Mark dicht oberhalb des Beinplexus durchschnitten hatte.

Diese Versuche bestätigen also auf's Neue die Rosenthal'schen

Experimente über den Reflexvorgang beim Frosche. Zu gleicher Zeit gestatten aber meine Versuche auch, die Rosenthal'sche Theorie über die Leitungsverhältnisse im Froschrückenmark auf höher stehende Thiere, auf die Eidechse auszudehnen. Zwar will ich nicht behaupten, dass normaler Weise der centrale Umsatz bei dem von uns untersuchten Reflex bei der Eidechse im Halsmark stattfinde — denn das beweisen meine Versuche nicht —, sondern ich glaube nur den Schluss ziehen zu dürfen, dass bei dem betreffenden Reflex der centrale Umsatz nicht in dem Niveau des Ein- resp. Austritts der in Frage kommenden Spinalnerven in dem Centralorgan normaler Weise vor sich gehe, sondern vielmehr in einer mehr cranial gelegenen Partie desselben.

Bei den Schildkröten habe ich, wie ich kürzlich mittheilte, ganz die entsprechenden Verhältnisse angetroffen.

Ich hatte Serien von Schildkröten, denen das Rückenmark in verschiedener Höhe quer durchschnitten war. An diesen Thieren nahm ich nun wahr, dass ich, um den gleichen Reflex (Defäcationsreflex) bei den verschiedenen Versuchsthieren zu erzeugen, um so stärkere Reize anwenden musste, je weiter caudal ich die Quersection bei diesen Schildkröten angelegt hatte. (Recherches sur les fonctions de la moelle épinière chez les tortues. Revue médicale de la Suisse Romande, 1897.)

Ich habe mich, soweit es irgend möglich war, bemüht, die im Vorstehenden beschriebenen Versuche so anzuordnen, dass ihre Resultate möglichst eindeutig würden. Dass trotz meiner Cautelen das Centralnervensystem der Versuchsthiere in Folge des operativen Eingriffs zur Zeit des Versuchs sich in einem in Bezug auf die Norm veränderten Zustand der Erregbarkeit befunden haben kann — man mag diesen nun nennen, wie man immer will —, das muss ich dahingestellt sein lassen. Denn die Lehren, welche uns Goltz z. B. über das Wesen des Shocks gegeben hat, mahnen uns zur grössten Vorsicht.

Es ist denkbar, dass, wenn man statt Tage, Wochen und Monate nach der Operation bei den Thieren verstreichen lässt, die Versuchsergebnisse andere werden. Aber es fragt sich dann wieder, ob nach so langem Zwischenraum die Wegsamkeit der Bahnen des Rückenmarks sich nicht überhaupt verändert hat und von der Normalität verschieden geworden ist.

Ob es die Nervenfasern sind, oder die Ganglienzellen, oder sonst

irgend welche andere Gebilde, welche die Verzögerung bei der Reizleitung innerhalb des Centralorgans bewirken, darüber vermag ich nichts auszusagen.

Ich ergreife gerne die Gelegenheit, Herrn Prof. Dr. J. L. Prevost an dieser Stelle meinen besten Dank für die vielseitige Unterstützung, welche er mir bei meinen Versuchen zu Theil werden liess, auszusprechen.

Literatur.

1) Helmholtz, Ueber die Geschwindigkeit einiger Vorgänge in Muskeln und Nerven. Bericht über die zur Bekanntmachung geeigneten Verhandlungen der Königl. Preuss. Akademie der Wissenschaften zu Berlin S. 328. 1854.
2) Rosenthal, Ueber Reflexe. Biologisches Centralblatt. 1885.
3) Rosenthal, Abhandlungen der Berliner Akademie der Wissenschaften. 1873 und 1875.
4) Rosenthal, Sitzungsberichte der physikalisch med. Societät zu Erlangen. 1873.
5) Rosenthal, Verhandlungen des Congresses für innere Medicin. 1884.
6) Wundt, Untersuchungen zur Mechanik der Nerven und Nervencentren. 2. Abh. Stuttgart 1876.
7) Exner, Experimentelle Untersuchungen der einfachsten psychischen Processe. Pflüger's Archiv 1874.
8) Exner, Archiv f. Anat. und Physiologie. Physiolog. Abth. S. 570. 1877.
9) Exner, Entwurf zur einer physiologischen Erklärung der psychischen Erscheinungen. I. Teil S. 526.
10) Grünhagen, Ueber das Verhältniss zwischen Reizdauer, Reizgrösse und latenter Reizperiode nach einem neuen Versuchsverfahren. Pflüger's Archiv Bd. 33 S. 296.
11) Fr. Goltz, Ueber die Functionen des Lendenmarks des Hundes. Pflüger's Archiv 1874.
12) Fr. Goltz, Verhandlungen des Congresses für innere Medicin. 1884. (Discussion über den Vortrag Rosenthal's: „Ueber Reflexe".)
13) J. Rosenthal und M. Mendelsohn, Ueber die Leitungsbahnen der Reflexe im Rückenmark und den Ort der Reflexübertragung. Neurologisches Centralblatt Nr. 21. 1897.
14) M. Mendelsohn, Untersuchungen über Reflexe. Sitzungsberichte der Königl. Preuss. Akademie der Wissenschaften zu Berlin S. 897. 1882.
15) M. Mendelsohn, Untersuchungen über Reflexe. Sitzungsberichte der Königl. Preuss. Akademie der Wissenschaften zu Berlin S. 123. 1883.
16) M. Mendelsohn, Untersuchungen über Reflexe. Sitzungsberichte der Königl. Preuss. Akademie der Wissenschaften zu Berlin S. 107. 1885.

(Aus dem Pharmakologischen Institut der Universität zu Bonn.)

Der Wein als Erregungsmittel beim Menschen.

Von
Dr. **J. Weissenfeld.**

(Mit 1 Textfigur.)

Im Verfolg der Untersuchungen über den Weingeist als Arzneimittel, die im hiesigen Pharmakologischen Institute seit 1869 unternommen wurden, handelte es sich auch um die wichtige Frage, wie sich die Athmung ihm gegenüber verhalte.

Die nachstehende Abhandlung kann als Fortsetzung und Ergänzung derjenigen gelten, die C. Wilmanns[1]) und G. Vogel[2]) in diesem Archiv veröffentlicht haben.

Beide Abhandlungen enthalten noch Lücken. Die Versuche sind mit Ausnahme von XXII und XXIII bei Wilmanns[3]) nur an Thieren angestellt, und es ist desshalb durchaus erforderlich, eine grössere Zahl am Menschen zu wiederholen. Ferner muss die Frage experimentell erörtert werden, ob nicht der bedeutenden Steigerung der Athemgrösse durch den Weingeist nach einiger Zeit eine Rückwirkung in Form eines Abfalles unter die Norm folge, so dass jene Steigerung dadurch mehr als aufgewogen würde. Das war zwar nach den bisherigen Beobachtungen nicht wahrscheinlich, allein es war doch nicht ganz ausgeschlossen.

Als erste Versuchsperson bei diesen neuen Versuchen diente ich. Bin 23 Jahre alt, 83 kg schwer, gesund und kräftig und an den sehr mässigen Genuss von Alkoholicis gewöhnt.

Die Versuche wurden in derselben Weise angestellt, wie Wilmanns und die anderen Autoren sie schon beschrieben haben. Als Weingeistpräparat diente diesmal ein ungefähr 30 Jahre alter Xeres-

---

1) C. Wilmanns, Die directe Erregung der Athmungscentra durch den Weingeist Bd. 66 S. 167. Bonn 1897.

2) G. Vogel, Untersuchungen über die Wirkung einiger Säureäther Bd. 67 S. 141. Bonn 1897.

3) Vgl. Wilmanns S. 204—206.


Fig 6.
I
IX
I
V

wein von sehr angenehmem Geruch und Geschmack und einem Gehalt an Weingeist von 13,7 Gewichtsprocent.

Die Versuche wurden meistens Morgens früh gegen 8 Uhr begonnen. Ich lag bequem auf einer Matratze, den Kopf erhöht, hatte das Mundstück der Gasuhr zwischen den Lippen und Zähnen. Die Nase war durch Wattebäusche, die mit Vaseline bestrichen waren, dicht verschlossen. Das Athmen geschah durch die bekannten Ventile, Anfangs zwar mit Schwierigkeit, weil das ungewohnte Mundstück der Gasuhr Beschwerden machte. Es waren desshalb auch bei den ersten Versuchen, die angestellt wurden, meine normale Athemgrösse zu bestimmen, die Zahlen verhältnissmässig hoch; später jedoch, als ich mich an diese Art des Athmens gewöhnt hatte, ging Alles ohne jegliche Schwierigkeit, wenn nur die Ventile in bester Ordnung waren.

Im Ganzen habe ich 74 Einzelversuche in 14 Versuchsreihen mit dem Xereswein gemacht. Da alle ohne Ausnahme dasselbe Ergebniss hatten, so darf ich wohl der Kürze halber diejenigen auswählen, die dies Ergebniss am klarsten zeigen.

Zuerst wurde meine normale Athemgrösse bestimmt. Jeder Versuch dauerte 15 Minuten, alle halben Minuten wurde an der Gasuhr abgelesen und wurden die Werthe notirt. Sobald 30 Werthe aufgeschrieben waren, wurden sie addirt und der Mittelwerth aus ihnen gezogen. Diese Mittelzahl gibt also an, wie viel Liter Luft durchschnittlich in jeder halben Minute ausgeathmet worden sind.

Der Kürze wegen gebe ich die vielen Einzelzahlen nicht, wie Wilmanns und Vogel das thaten. Ich verweise auf ihre Darstellung, der ich mich in allem anschloss. Die arithmetischen Mittel dürften diesmal genügen. Dazu mache ich noch besonders die Angabe, dass alle Versuche in der annähernden Gleichmässigkeit verliefen wie dort.

Versuch I.

30 Aufzeichnungen gaben im Mittel eine Athemgrösse von 5,92 l in der halben Minute Athemluft. Es war der erste Versuch. Das Mundstück war mir zwischen Lippen und Zähnen sehr unbequem.

In den folgenden Normalversuchen II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX verschwand diese Empfindung immer mehr und das fand seinen Ausdruck in den Mittelwerthen von

3,24 2,74 2,96 2,80 2,96 2,86 2,96 2,96 l

Es musste ebenfalls untersucht werden, ob nicht die Aufnahme der Flüssigkeit für sich allein in den Magen die Athemgrösse vor-

übergehend beeinflusse. Zu diesem Zwecke machte ich eigens einen Versuch, indem ich die Athemgrösse maass und darauf 100 ccm Wasserleitungswasser trank.

Die Zahlen waren vor der Aufnahme des Wassers im Durchschnitt 3,15 und 3,16, und nach der Aufnahme 2,65 und 2,85. Es war nicht nur nicht eine Steigerung, sondern ein Abfall erfolgt.

Auch dieser Controlversuch wurde in den nämlichen Vormittagsstunden wie die früheren gemacht.

Auf diesen Grundlagen konnte man mit der Beantwortung der Frage nach der Wirkung des Weines beginnen. Dabei verfuhr ich folgendermaassen:

Zuerst wurde die physiologische Athemgrösse aufgenommen, dann der Wein getrunken, eine Viertelstunde gewartet, um dessen Aufsaugung abzuwarten, und dann sein Einfluss auf die Athemgrösse aufgezeichnet.

Hier ein Beispiel:

Versuch II.

7 Uhr 40 Min. Morgens. Zimmerwärme 14° C.
Ruhige Athmung vor der Weingeistaufnahme:

2,7	3,1	2,3	2,8	3,4	2,6
3,0	3,2	3,0	2,8	2,8	2,8
3,1	3,1	3,2	3,4	2,8	2,8
3,6	2,9	2,9	3,3	2,7	3,0
3,1	2,7	2,6	2,9	3,3	3,0
15,5	15,0	15,0	15,2	15,0	14,2

Mittlere Grösse der Athmung 2,96 l. 8 Uhr Aufnahme von 50 ccm Xereswein: Es wurden 10 Minuten gewartet und weitere 3 Minuten ohne Notirung vorgeathmet. Sofortiges Aufsteigen der Athemgrösse auf 3,70 l im Durchschnitt. Athemgrösse um 8 Uhr 18 Min.:

4,3	6,6	2,9	4,0	3,8	4,0
4,0	3,9	4,1	3,8	3,1	3,3
4,1	2,9	4,0	3,6	4,3	3,5
3,4	3,3	3,2	3,9	3,3	3,9
4,6	4,3	3,2	4,0	3,0	2,9
20,4	21,0	17,4	19,3	17,0	17,6

Es wurde nun alle Viertelstunde abgelesen und Folgendes gewonnen:

8 Uhr 40 Min. fühlte ich mich recht schläfrig, ich war ruhig auf der Matratze liegen geblieben.

Die Athemgrösse war gestiegen auf 4,57 l.

9 Uhr 10 Min. war sie auf 3,80 l gestiegen.
9 Uhr 30 Min. auf 3,70 l,
10 Uhr „ 3,90 l,
11 Uhr „ 3,70 l,
11 Uhr 30 Min. „ 3,30 l.
Um 10 Uhr war ich nahe am Einschlafen.

Also vor der Weingeistaufnahme wurden durchschnittlich jede halbe Minute 2,96 l Luft ausgeathmet, 4 Stunden später 3,30 l. mithin in dieser langen Zeit kein Abfall unter die Norm.

Man könnte noch an eine ähnliche Schwankung der Athemgrösse denken, wie sie tagsüber bei der thierischen Körperwärme stattfindet und hier bis zu 0,6 ° beträgt. Die im Versuch I angegebenen Mittelwerthe liegen jedoch sämmtlich unter 3,30 l und somit muss diese Ziffer jedenfalls angesehen werden als nicht unter der Norm liegend.

Versuch III.

Dieser Versuch fand auch in derselben Weise wie die zuerst angeführten statt. Während desselben trat auch ein vollständiges Einschlafen ein. Dabei fiel die Athemgrösse auf 3,50 l, also immer noch nicht auf oder unter die Norm, von der der Versuch ausgegangen war. Wir werden auch an späteren Versuchen sehen, dass auch im schläfrigen Zustande ein Wiederansteigen der Athemgrösse vorkommt.

Der Versuch begann 8 Uhr 50 Min. Morgens.

Mittlere Grösse der Ausatmung vor Aufnahme des Weingeistes 3,10 l Luft. Nach Aufnahme des Xeresweines 9 Uhr 8 Min.; schon 9 Uhr 20 Min. ein Aufsteigen der Athemgrösse auf 4,83 l.

9 Uhr 40 Min., während ich schlief, fiel dieselbe auf 3,50 l.
10 Uhr 13 Min. auf 3,37 l,
10 „ 43 „ „ 3,35 l,
11 „ 15 „ „ 3,45 l.

11 Uhr 42 Min. oder 2½ Stunde nach Aufnahme des Weingeistpräparates noch folgende Werthe:

3,1	2,9	3,5	4,0	3,9	3,1
4,0	2,9	3,3	3,0	4,3	3,0
3,0	3,2	2,7	3,5	2,6	3,0
4,0	3,8	3,4	3,4	2,8	3,0
3,2	3,6	3,5	4,5	3,5	3,0
17,3	16,4	16,4	18,4	17,1	15,1

oder im Mittel 3,30 l, ebenfalls kein Abfall unter die Norm, da ja die physiologische Athemgrösse bei Versuch III im Mittel 3,10 l ergeben hatte.

Um eigens die Wirkung der Aussentemperatur mit in Rechnung zu ziehen, wurde diese während eines ganzen Versuches beobachtet

und gefunden, dass sie einer Schwankung nicht unterlag, und dass der Ausschlag, den der Wein gab, sich dennoch einstellte.

Es blieb sich für das Ergebniss auch gleich, ob die Zimmerwärme die gewöhnliche (17—18 ° C.) war, oder an Sommertagen bis zu 25 ° C. betrug, oder einmal nur 14 ° C.

Versuch IV.

In diesem und den folgenden Versuchen nahm ich statt 50 ccm Wein 75 ccm auf. Ich erhielt in der Norm, bei zwei Versuchen, 2,93 l und 2,81 l in der halben Minute.

9 Uhr 20 Min. wurde der Wein aufgenommen und 9 Uhr 35 Min. die etwaige Aenderung der Athemgrösse untersucht.

9 Uhr 35 Min. auf 4,54 l gestiegen.
9 „ 55 „ „ 4,42 l „
10 „ 15 „ „ 4,12 l „

Um 12 Uhr 15 Min. stand die Athemgrösse noch auf 3,95 l. Es ergaben sich hier folgende Werthe:

5,5	5,8	3,9	2,8	3,6	3,3
4,7	3,9	4,0	5,7	2,5	3,6
4,6	3,7	4,5	4,2	3,7	3,2
5,4	2,8	4,8	4,4	2,6	2,8
6,3	3,8	4,2	2,1	4,1	2,2
26,5	20,0	21,4	19,2	16,5	15,1

Um 12 Uhr 45 Min. auf 2,89 l, gegenüber 2,81 l der Zeit vor der Aufnahme des Weines. Ich war während der ganzen Zeit ruhig liegen geblieben, anfangs gar nicht, wurde ich erst später schläfrig und schlief beim letzten Male gleich zu Anfang ein und wurde erst am Schlusse wach. Trotzdem resultirte die schon oben erwähnte Zahl als Mittelwerth.

Es schien von Interesse, gleichzeitig auch die Einwirkung des Xeresweines auf den Blutdruck zu untersuchen. Das geht beim Menschen mittelst des Sphygmomanometers von Basch. Gegen dieses Instrument und die bei seiner Anwendung gezogenen Schlüsse lässt sich Manches sagen und ist auch gesagt worden. Allein das dürfte doch zutreffend sein, dass es zu vergleichenden Untersuchungen zur selben Zeit und an derselben Person sich wohl eignet.

Allerdings ist die Einübung mit diesem Instrument nicht leicht, und nach einer bei v. Leube in Würzburg erschienenen Doctor-Arbeit[1]) bedarf man einer vierteljährigen täglichen Uebung, um es zu beherrschen und genaue Untersuchungen mit ihm anzustellen.

---

1) B. Bozidar, Messung des Blutdrucks am Menschen mit Hülfe des Sphygmomanometers von Basch. Würzburg 1896.

Versuch V.

Der Blutdruck wurde von uns auf der Arteria radialis gemessen und betrug hier 130 mm Quecksilber, die Athemgrösse 3,21 l.

10 Uhr 5 Min. trank ich 50 ccm Xereswein und blieb ruhig liegen:

11 Uhr	30 Min.	Blutdruck	160 mm	Athemgrösse	3,30 l.
11 „	50 „	„	170 „	„	3,36 l.

Mithin war zugleich mit dem Steigen der Athemgrösse auch eine Vermehrung des Blutdruckes eingetreten.

In einem zweiten Versuch über das Verhältniss des Blutdruckes gelangten wir zu folgendem Ergebniss:

Versuch VI.

Mittlere Athemgrösse vor Einnahme des Weingeistes 3,10 l.

9 Uhr Blutdruck 130 mm. Nach Einnahme:

9 Uhr	15 Min.	Athemgrösse	3,46 l	Blutdruck	145 mm.
9 „	40 „	„	3,86 l	„	160 mm.
10 „	20 „	„	3,36 l	„	150 mm.
10 „	50 „	„	3,35 l	„	150 mm.

Die Frequenz des Pulses änderte sich nicht regelmässig. Einmal blieb sie sich ziemlich gleich, einmal stieg sie von 72 auf 84, und das dritte Mal sank sie auf 64.

Um zu erfahren, wie der Wein bei nüchternem Magen wirke, frühstückte ich an einem Morgen einmal gar nichts, nachdem ich am Abend des vorhergehenden Tages Thee getrunken und einige Butterbrote gegessen hatte.

Versuch VII.

Ich begann morgens 7 Uhr 30 Min. den Versuch. Mittelwerth der physiologischen Athemgrösse betrug 3,10 l für die halbe Minute. Der Blutdruck, mit dem Sphygmanometer gemessen, zeigte 140 mm. Die Zimmertemperatur betrug hier 22° C. Um 8 Uhr 25 Min. nahm ich 75 ccm Xereswein, wartete wiederum und notirte nach einer Viertelstunde die Werthe:

8 Uhr	40 Min.	Blutdruck	190 mm	Athemgrösse	4,20 l.
8 „	58 „	„	190 mm	„ weil fest geschlafen	3,70 l.
9 „	25 „	„	170 mm	Athemgrösse	4,56 l.
9 „	50 „	Athemgrösse	5,30 l.		
10 „	30 „	„	4,80 l.		
11 „	55 „	„	4,35 l.		

Es ergeben hier die Lesungen das merkwürdige Resultat, dass bei Inanition die Wirkung des Südweines eine ungleich energischere

war als im Zustande der Sättigung. Ein Blick auf die Zahlen genügt, um dies zu zeigen.

Vor der Aufnahme des Weingeistes hatte ich ein unangenehmes Hungergefühl und ein Gefühl allgemeiner Schwäche, was jedoch durch den Weingenuss vorübergehend verschwand.

Ich kann mir das nur so erklären, dass die verbrennbaren Bestandtheile des Weines die nicht vorhandenen gewohnten Nährsubstanzen eine Zeit lang ersetzten.

Auch hier haben wir wieder die Thatsache vor uns, dass innerhalb der 4stündigen Beobachtungszeit ein Rückschlag gegenüber der Steigerung der Athemgrösse nicht erfolgte.

Ich füge hier die Curve des Versuchs VII (S. 67) an, weil sie in besonders klarer Weise die Wirkung des Weines zeigt.

Versuch VIII.

Eine andere Versuchsperson, J. G. cand. med., 21 Jahre alt, 65 kg, untersetzt, gesund und kräftig, sehr mässiger Trinker.

Seine normale Athemgrösse betrug im Mittel 2,15 und 2,20 l.

Um 8 Uhr 45 Min. Aufnahme von 60 ccm Xereswein.

9 Uhr	Athemgrösse	2,88 l.
10 „	„	2,76 l.
10 „ 45 Min.	„	2,96 l.

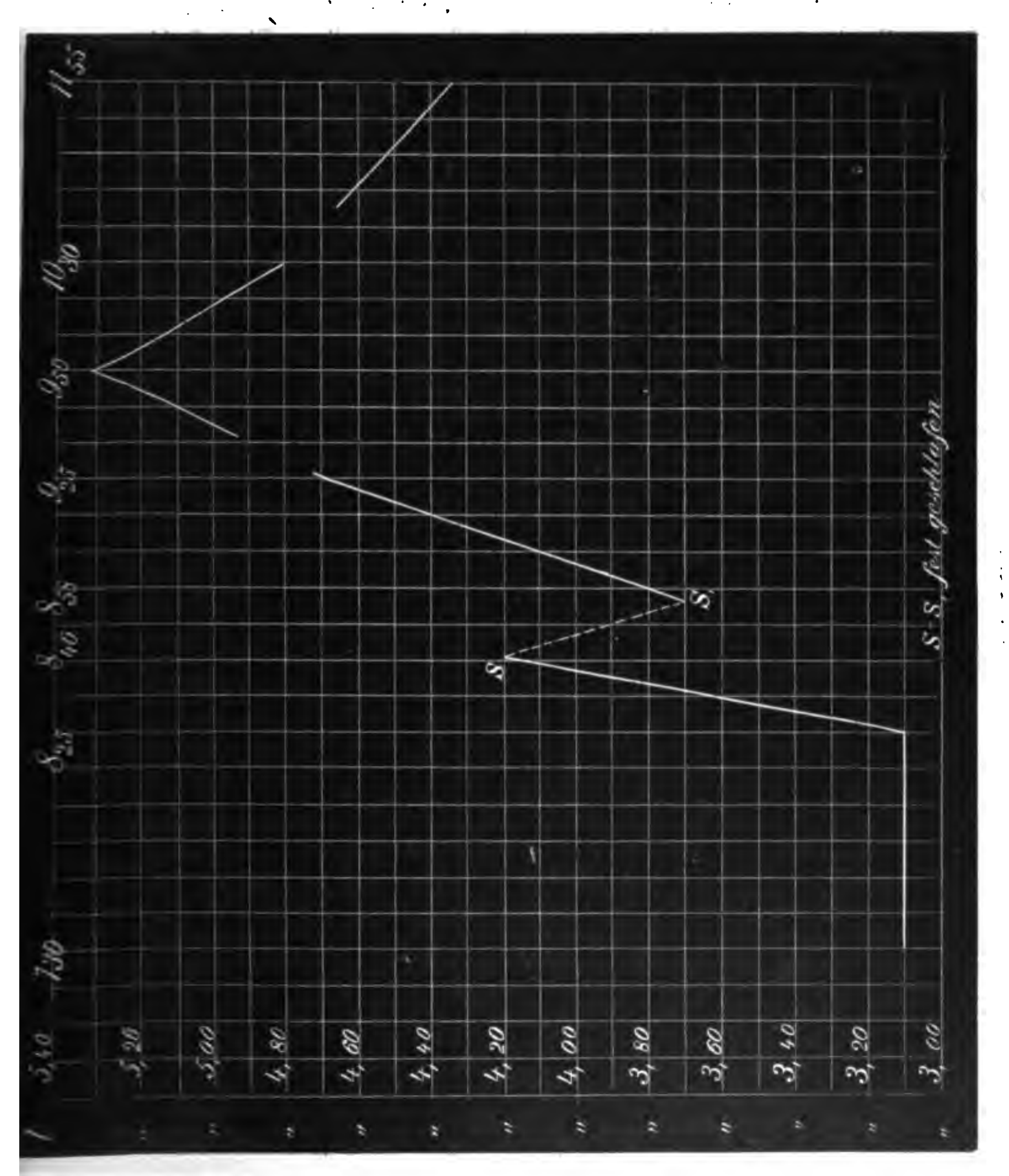
12 Uhr 10 Min., 3½ Stunde nach der Aufnahme des Weines 2,49 l.

Ueberblicken wir die Ergebnisse der bisherigen Versuche, so zeigt sich dies:

1. Nach mässigen Gaben des genossenen Weines stieg die Athemgrösse ganz deutlich.
2. Diese Steigerung war auch dann noch sichtbar, wenn unter dem Einfluss des Weines Schläfrigkeit oder Schlaf eintrat.
3. Innerhalb der benutzten Zeit bis zu vier Stunden war eine die Athemgrösse erniedrigende Rückwirkung nicht wahrzunehmen und wurde auch später in meinem Befinden durch nichts angedeutet.
4. Die Steigerung der Athemgrösse war am beträchtlichsten, als der Körper der Versuchsperson durch Mangel an der gewohnten Nahrungsaufnahme geschwächt war.
5. Die nämlichen Gaben des Weines bewirkten eine Steigerung der Herzthätigkeit.

Versuch VII.

Damit die Curve nicht zu breit werde, sind die Zeiten, worin, während ich ruhig lag, nicht gemessen wurde, weggelassen.



Bei den vorstehenden Versuchen hatte ich nur Gebrauch gemacht von einem bereits 30 Jahre abgelagerten echten Xereswein. Es schien zweckmässig, ein ganz neues Weinpräparat daneben zu prüfen, ich meine den seit wenigen Jahren im Handel befindlichen Malton-Wein.

Er wird bereitet aus gewöhnlicher, sorgfältig hergestellter, aus Gerste gewonnener Bierwürze. Statt dass man dieser Bierhefe hinzufügt, um sie vergähren zu lassen, behandelt man sie zuerst mit Milchsäurehefe in solcher Ausdehnung, dass eine leichte Säuerung daraus hervorgeht. Dann fügt man der so angesäuerten Bierwürze Hefe hinzu, die man aus fremden Weinen gewonnen und in der bekannten Bereitung der Kunsthefe weiter gezüchtet hat.

Unter dem Einfluss dieser fremden Hefe wird der grösste Theil des Zuckers — Rohrzucker war noch eigens hinzugesetzt worden — zu Aethylalkohol und Kohlensäure vergohren. Gleichzeitig aber entwickeln sich diejenigen Aetherarten, die dem Malton-Wein den charakteristischen Geschmack und Geruch der Weine verleihen, wovon die Hefe entnommen und weiter gezüchtet war.

Es zeigt sich also hier die merkwürdige Thatsache, dass die sogenannten Bouquets der natürlichen Weine abhängig sind von der Art der an den Trauben schmarotzenden Hefe.

Das wird heute verwerthet, um sogenannte Malton-Weine im Grossen zu bereiten.

Mir stand ein so bereiteter Xeres-, Tokayer- und Portwein zur Verfügung. Ich wählte den letzteren, als den am besten schmeckenden. Sein Geschmack und Geruch war in der That ein sehr angenehmer, nur bei besonderer Aufmerksamkeit an den Nachgeschmack des Gerstenmalzes erinnernd. Dieser künstliche Portwein enthielt gegen 14,9 Gewichtsprocent Alkohol. Sein süsser Geschmack bewies, dass er noch ein beträchtliches Quantum unvergohrenen Zuckers hatte.

Versuch IX.

10 Uhr 15 Min. Morgens. Normale Athmung im Mittel 3,15 l für die halbe Minute. 10 Uhr 40 Min. Aufnahme von 50 ccm Maltonwein.

10 Uhr 52 Min.	Athemgrösse	3,50 l.
11 „ 20 „	„	3,66 l.

Versuch abgebrochen.

Versuch X.

9 Uhr 19 Min. Morgens. Normale Athmung 3,20 l. 9 Uhr 42 Min. Aufnahme von 75 ccm Maltonwein.

10 Uhr 8 Min.	Athemgrösse	3,55 l.
10 „ 25 „	„	3,50 l.
10 „ 55 „	„	3,70 l.

Versuch abgebrochen.

In diesen beiden Versuchen ergab sich nach Aufnahme des Malton-Weines eine deutliche Reizung der Athmungscentren, allerdings nicht in dem Umfange, wie bei dem alten Xereswein. Ich prüfte desshalb im folgenden Versuch dieselbe Wirkung nach Aufnahme grösserer Gaben und fand dabei dieses:

Versuch XI.

9 Uhr 40 Min. Morgens. Normale Athmung:

3,3	3,5	3,1	3,0	3,4	2,9
3,5	3,3	3,2	3,0	2,8	2,5
3,0	2,3	3,5	3,5	3,0	3,0
3,4	2,6	2,9	3,2	2,6	3,1
3,4	2,8	3,6	3,4	3,4	3,0
16,6	14,5	16,3	16,1	15,2	14,5

Im Mittel 3,10 l für die halbe Minute.

10 Uhr. 75 ccm Maltonwein.
10 Uhr 10 Min. folgende Athemgrösse:

3,4	4,0	3,5	4,3	3,4	3,8
3,8	4,0	3,5	4,2	3,9	3,7
3,8	3,7	3,8	4,5	3,7	3,5
4,0	3,3	4,2	4,3	4,0	3,6
3,7	4,0	4,0	4,0	4,2	3,3
18,7	19,0	19,0	21,3	19,2	17,9

Im Mittel 3,80 l für die halbe Minute.

10 Uhr 30 Min.:

3,5	3,7	3,4	3,6	2,5	3,0
4,0	4,0	3,3	3,2	2,7	3,0
4,2	3,7	4,0	3,5	2,9	3,2
4,6	3,0	3,2	3,3	3,1	3,4
3,8	3,3	3,2	3,0	4,1	2,9
20,1	17,7	17,1	16,6	15,3	15,5

In Mittel 3,30 l für die halbe Minute.

10 Uhr 50 Min. 75 ccm Wein.
11 Uhr:

3,0	4,0	3,8	3,1	3,2	3,7
3,3	3,4	3,7	3,2	3,5	3,3
3,0	3,3	3,2	3,5	3,0	3,4
3,5	3,5	3,8	3,4	3,5	3,4
3,3	3,5	3,7	3,2	4,0	3,4
16,1	17,7	18,2	16,4	17,2	17,2

Im Mittel 3,40 l für die halbe Minute.

11 Uhr 30 Min. Nochmals 75 ccm Maltonwein.
11 Uhr 40 Min.:

4,5	4,8	4,5	4,4	4,0	4,0
3,5	4,2	4,2	3,9	3,8	4,0
4,0	4,0	4,3	4,0	4,0	4,2
3,5	4,3	4,0	3,8	4,0	4,6
4,0	4,7	4,1	3,7	3,9	4,2
19,5	22,0	21,1	19,8	19,7	21,0

Im Mittel 4,10 l für die halbe Minute.

12 Uhr Mittags:

3,7	4,3	4,5	4,0	4,0	4,2
4,2	4,5	4,5	4,0	3,9	4,1
3,8	4,1	4,5	4,2	4,3	3,9
4,1	4,0	3,9	4,1	4,5	4,2
4,6	4,0	4,1	4,0	4,2	4,5
20,4	20,9	21,5	20,3	20,9	20,9

Im Mittel 3,83 l für die halbe Minute.
Versuch abgebrochen.

Wie man sieht, ist eine recht gute Reizwirkung vorhanden. Sie erfordert allerdings eine grössere Aufnahme als bei dem alten Xereswein.

Mein Befinden nach Aufnahme des echten Xeresweines war folgendes: Zuerst angenehme Erregung des Allgemeingefühls, dann Schläfrigkeit, die einige Male in vollen tiefen Schlaf überging. Keinerlei unangenehme Nachwirkung.

Beim Malton-Wein: Die ebenerwähnte Steigerung des Allgemeingefühls war nicht vorhanden, aber auch nicht die Schläfrigkeit und der Schlaf, ungeachtet die Gabe grösser war als beim Xeres; jede üble Nachwirkung fehlte.

Auch der Malton-Portwein also erwies sich bei mir als ein Getränk, welches die Athmungscentra ohne störende Neben- oder Nachwirkung erregte. Es muss Gegenstand weiterer Untersuchungen sein, ob das auch bei andern Personen die Regel ist.

Im Uebrigen verweise ich betreffs seiner Anwendung am kranken Menschen auf die Versuche von C. A. W. Ewald, Berlin. Klin. Wochenschr. 1895 Nr. 45. — M. Mendelsohn, Zeitschr. für Krankenpflege. Juniheft 1895. — C. v. Noorden, Berlin. Klin. Wochenschr. 1897 Nr. 44.

Aus der letztgenannten Veröffentlichung will ich nur folgenden Satz hervorheben:

„Der günstige Einfluss der Maltonweine auf das Allgemeinbefinden, die anregende Wirkung auf das erschöpfte Nervensystem, die Anspornung der Herzthätigkeit vollzog sich in derselben Weise, wie bei anderen Weinen von ähnlichem Alkoholgehalt."

Legen wir uns die Frage vor, welche Bestandtheile der von mir geprüften Weine die Träger der Wirkung waren, so müssen als solche genannt werden, gemäss den früheren Versuchen, der Aethylalkohol und die Säureäther; ob nicht noch andere, wie die Extractivstoffe u. s. w. muss die weitere Untersuchung ergeben.

Sollten die Ergebnisse meiner Versuche Verwendung am Menschen finden, so kann das nur an dem durch Krankheit oder Arbeit erschöpften sein, denn der gesunde Mensch hat kein Reizmittel für seine Athmungs- und Herzthätigkeit nöthig.

Die Arbeit wurde auf Anregung und unter Anleitung von Geh. Med.-Rath Prof. Dr. Binz unternommen. Hierfür spreche ich meinem hochverehrten Lehrer meinen Dank aus. Desgleichen danke ich dem Privatdocenten Dr. Wendelstadt für seine überaus grosse Freundlichkeit, mit der er mich bei den zahlreichen Versuchen unterstützt hat.

Die Functionen des Ohrlabyrinths.

Von

E. von Cyon.

I. Einleitung.

In Bd. 68 dieses Archivs erschien ein längerer polemischer Aufsatz von Breuer, welcher dem Anscheine nach den Zweck hatte, meine Lehre von den Functionen des Ohrlabyrinthes zu bekämpfen und, meinen Anfechtungen gegenüber, die Hypothesen von Crum-Brown, Mach und ihm zu vertheidigen. Ich sage dem Anscheine nach, denn bei aufmerksamer Lectüre dieses Aufsatzes erkennt man leicht, dass die für eine wissenschaftliche Discussion ganz ungewöhnliche Heftigkeit seines Verfassers in wesentlichem Zusammenhang steht mit dem vollen Rückzug Breuers von den früher vertheidigten Positionen. Von den vielen Sinnesorganen, die er mit solcher Leichtigkeit bei seinen rein speculativen Besprechungen der experimentellen Ergebnisse anderer Forscher im Ohrlabyrinth gefunden hat, — will er jetzt nur noch einen einzigen aufrecht erhalten. Und auch diesen letzten Sinn vermeidet er näher zu charakterisiren und zu localisiren. Er begnügt sich damit, für ihn die Bezeichnung des statischen Sinnes vorläufig beizubehalten, und sucht ihn, wenn nicht mit meinem Raumsinn zu identificiren, so doch womöglich mir ihn als Beihülfe, als Stütze für meine Lehre anzubieten, damit sein Betheiligungsrecht an dem Aufbau der Lehre von den Functionen des Ohrlabyrinths nicht ganz verloren geht.

„Die Vertreter der Theorie vom statischen Sinne (welcher kurze, wenn auch nicht gute Name unterdess beibehalten werden mag) meinen, der Vestibular-Apparat sei ein Sinnesorgan der Bewegungs- und Lageempfindungen (Breuer 1875), und man sollte glauben, die Meinung Cyon's und die eben bezeichnete wären nahe verwandt. Denn darüber trennen sich die Meinungen: ob der Vestibular-Apparat functionell Gehörorgan sei oder Sinnesorgan räumlicher Perceptionen. Theilt ein Autor die letztere Ansicht, so können die Differenzpunkte

zwischen ihm und den Vertretern der Lehre vom statischen Sinne nur secundärer Natur sein." [1])

So einfach sind die Verhältnisse nicht, wie Breuer sie sich zurechtlegen will. Der Vestibularapparat kann als peripheres Organ des Raumsinnes (Cyon) gelten und dabei doch eine Rolle beim Hören spielen, z. B. bei der Bestimmung der Schallrichtungen. Auch sind die Differenzen zwischen meinem Raumsinn und dem Breuer'schen, nur vage definirten Sinnesorgan mit schlechtem Namen, nicht secundärer, sondern principieller Natur. Es ist daher nur ein Spiel mit Worten, wenn Breuer schreibt: „Cyon bekämpft aber nicht, wie man erwarten sollte, mit Hensen die neuere Lehre: dass der Vestibular-Apparat ein Sinnesorgan nicht acustischer, sondern räumlicher Empfindungen sei" [2]).

Die Hensen'sche Rede richtete sich gegen den Missbrauch mit den neuen Sinnen, die im Gehörorgan von Breuer u. A. täglich gefunden wurden: „Der Raumsinn und die Raumempfindungen," schrieb ich, „sind ja nicht erst in letzter Zeit, um mit Hensen zu sprechen, von Physiologen im Menschen entdeckt worden," sie sind ja seit undenklicher Zeit bekannt gewesen. Wir haben nur ihre Entstehungsweise aufgeklärt und in den Bogengangapparat localisirt" [3]). Weder hat also Hensen in seiner Rede den Raumsinn bekämpft, noch konnte es meine Aufgabe sein, meine eigne Lehre zu bekämpfen.

Trotz der Gewandtheit, mit welcher Breuer meine Argumente zu bemängeln weiss, trotz der verletzenden Form des Ausdruckes und trotz der grossen Freiheit, mit der er Sätze mir zuschreibt, angeblich von mir citirt, die ich nirgends gedruckt habe, ist sein letzter Aufsatz mir doch sehr willkommen gewesen. Es konnte für die definitive Klärung der Streitfragen nur nützlich sein, dass Breuer selbst es bestätigt, wie berechtigt die Deutung war, welche ich den etwas dunkel gehaltenen Passagen seiner im Jahre 1890 erschienenen Schrift gegeben habe . . . . „Mit anderen Worten," schrieb ich, „die Aussöhnung [4]) soll auf dem Boden meiner Theorie

1) Dieses Archiv Bd. 68 S. 591.

2) a. a. O. S. 596.

3) Bogengänge und Raumsinn. Archiv von Du Bois-Reymond S. 108. 1897.

4) Zwischen Breuer und Preyer, der im Jahre 1887 eine Hypothese über die Functionen der Bogengänge aufgestellt hat, welche — von der Erregungsursache abgesehen — mit meiner Lehre vom Raumsinn identisch war.

der Raum- und Richtungsempfindungen geschehen ..." Ich schloss mit den Worten: „Ich gebe nicht die Hoffnung auf, dass Breuer auch noch diese Concession machen wird und seine Dreh- und statischen Sinne ganz wird fallen lassen" [1]).

Dass diese Hoffnung schneller in Erfüllung gegangen ist, als ich selbst erwartete, soll hier gezeigt werden.

II. Meine Lehre von dem Raumsinn.

Die Hauptzüge meiner Lehre von den Functionen des Ohrlabyrinths sind: 1) Die Erregungen dieses Organs dienen zur Regulirung und Bestimmung der Stärke der Innervationen, welche den willkürlichen Muskeln unseres Organismus ertheilt werden. 2) Die Empfindungen, welche durch die Erregung der in den Ampullen dieser Canäle sich verbindenden Nervenendigungen hervorgerufen werden, dienen dazu, unsere Vorstellung von dem dreidimensionalen Raume zu construiren. Auf diesen idealen Raum werden unsere sämmtlichen übrigen Sinneseindrücke übertragen, soweit sie sich auf die Anordnung der uns umgebenden Gegenstände und die Stellungen unseres eignen Körpers beziehen.

Breuer beginnt mit der Besprechung dieses Raumsinnes: „Der Kern der Cyon'schen Theorie hingegen ist, wie ich glaube, wirklich ein geistvolles Aperçu. Es war ein unzweifelhaftes und bedeutendes Verdienst, den Gedanken auszusprechen, dass die Raumanschauung aus den Empfindungen des Vestibular-Apparates (Cyon sagt: der Bogengänge) erwachsen sei. Dies Verdienst wird nicht geringer dadurch, dass der Gedanke nahe liegt und gewiss sich auch Anderen aufgedrängt hat: „Sage etwas, das sich von selbst versteht, zum ersten Mal, und du bist unsterblich" (Ebner). Ich glaube, dass jener Gedanke ein fruchtbarer sei [2]) u. s. w." Gleich darauf erklärt er, dass meine Theorie sei „eine geniale Intuition, welche die klaffenden Lücken der Schlusskette überspringt" [3]).

Ich habe selbst auf gewisse Lücken in meiner Theorie hingewiesen. In Cap. IX meiner letzten Abhandlung erkläre ich ausdrück-

---

1) l. c. S. 102.
2) l. c. S. 603.
3) l. c. S. 605.

lich, dass erst, wenn der normale Erreger der Nervenden des Ohrlabyrinths genauer festgestellt ist, die Hauptlücke wird ausgefüllt werden können. Bis dahin können noch Jahrzehnte vergehen. Dagegen finde ich Breuer's Bezeichnung als Intuition für eine Lehre, die auf Hunderte von Experimenten und Beobachtungen gegründet ist, welche während einer langen Reihe von Jahren fortgesetzt wurden, mehr als gewagt. Wenn Breuer sich die Mühe geben wollte, nur einige der so schwierigen Versuche zu wiederholen, so z. B. über die einzelnen Bogengänge der Frösche, sowie über verschiedene Augenbewegungen, welche nach Erregung der Bogengänge beim Kaninchen auftreten, so wird er sicherlich erkennen, dass ich zur Aufstellung meiner Theorie des Raumsinns durch eine Fülle von Thatsachen geradezu gezwungen wurde.

Es klingt daher sonderbar, wenn Breuer behauptet, dass meine Theorie kaum begründet, geschweige bewiesen ist, und dennoch an deren Richtigkeit nicht zweifelt, dann der „Gedanke gewiss auch Andern sich aufgedrängt hat“ wie „etwas, das sich von selbst versteht“. Diese Behauptungen sollen wohl nur entschuldigen, dass er schon im Jahre 1890 in seiner Abhandlung meine Anschauungen stillschweigend und wie im Vorbeigehen adoptirt hat: „Preyer ist übrigens nicht der Einzige, der von Raumempfindung der Bogengänge zu sprechen beginnt,“ sagte ich letztens [1]). „Der eifrigste Verfechter des statischen Sinnes, Breuer, verschmäht es in seiner letzten Abhandlung nicht, mehrmals von solchen Raumempfindungen... zu sprechen.“ [2]) Nachdem Breuer diese meine Worte citirt hat, sucht er diese Adoption durch Erklärungen zu motiviren, welche wörtlich hier wiedergegeben werden müssen: „Mach, Brown und ich entwickelten 1873 in ausführlichen Mittheilungen, dann in den nächsten zwei Jahren in unseren Arbeiten die Theorie, der Vestibularapparat sei ein Sinnesorgan zur Wahrnehmung der Lage des Kopfes, der Progressivbewegung und der Drehbewegung. All' diese Empfindungen besitzen keinen anderen Qualitätsinhalt als räumlichen und zeitlichen (Geschwindigkeit), und nun, nachdem 1874 die Theorie von den räumlichen Empfindungen des Vestibularapparates aufgebaut

---

1) a. a. O. S. 102.
2) a. a. O. S. 102.

wurde, sollte uns verwehrt sein, von räumlichen Empfindungen zu sprechen, ohne diese Entdeckung v. Cyon zuzuschreiben?“ [1])

Auch abgesehen davon, dass der Vestibularapparat weder für die Wahrnehmung der Progressivbewegung noch der der Drehbewegungen dient, ist alles Uebrige in den angeführten Sätzen Breuer's im grellen Widerspruch mit der thatsächlichen Wahrheit.

Die Theorie von den räumlichen Empfindungen des Vestibularapparates habe ich zuerst im Jahre 1873 auf Grundlage von Versuchen aufgestellt, die mit Solucha im Jahre 1872 ausgeführt worden sind. In der betreffenden Arbeit [2]) befindet sich unter anderen Schlüssen folgender: „2) Die Art der zur zweiten Gruppe gehörenden Bewegungen sowohl des Kopfes als des Rumpfes lässt keinerlei Zweifel mehr übrig, dass die Bogengänge mit gewissen räumlichen Vorstellungen und Empfindungen in Beziehung stehen“. [3]) In dieser Abhandlung sind auch die Versuche mit den Fixationen des Kopfes, der Erzeugung von künstlichem Strabismus u. s. w. mitgetheilt worden, welche es gestatteten, die richtige Art und Weise zu erkennen, wie die Bogengänge bei der Beurtheilung der Kopfhaltungen interveniren können. Im Jahre 1878 habe ich dann auf Grundlage neuer Untersuchungen die vollständige Theorie des Raumsinnes aufgebaut.

Erst im Jahre 1890 begann Breuer von Raumempfindungen und räumlichen Empfindungen zu sprechen, nachdem Mach schon im Jahre 1886 sich meiner Theorie bedeutend genähert hat. Dies ist die wahrheitsgetreue Entwicklung der Lehre von dem Raumsinne im Vestibularapparate. Ich begreife vollkommen, dass Breuer im Jahre 1890, um seinen statischen Sinn vom Untergang zu retten, ihn mit der Preyer'schen Hypothese versöhnen wollte, die nur eine Copie meiner Lehre vom Raumsinne war. Auch will ich gern zugeben, dass es für ihn peinlich ist, nachdem er Jahre lang über die Functionen des Ohrlabyrinths herumtheoretisirt hat, jetzt offen gestehen zu müssen, dass seine Hypothesen bodenlos waren, und dass seine erfundenen Sinnesorgane sinnlos sind. Das gibt ihm aber kein Recht zu der Behauptung, dass er schon, wohl im Geheimen, die Theorie von der räumlichen Empfindung im Jahre 1875 aufgebaut hat, weil

1) a. a. O. S. 599.

2) Die Abhandlung, datirt vom August 1873, ist im Beginn des Jahres 1874 in diesem Archiv erschienen.

3) Meine Gesammelte physiologische Arbeiten S. 265. Berlin 1888.

er von Progressiv- und Drehbewegungen gesprochen hat, die „keinen anderen Qualitätsinhalt als räumlichen und zeitlichen" besitzen. Dies gilt auch für alle möglichen Bewegungen. Auch die Herz- und Darmbewegungen z. B. geschehen im Raume; dies erlaubt aber nicht, die durch diese Bewegungen erzeugten Empfindungen als räumliche Empfindungen, geschweige denn als Raumempfindungen zu betrachten.

Crum-Brown, Mach und Breuer haben daher Recht gethan, wenn sie bei ihren Hypothesen über die Functionen der Bogengänge als Sinnesorgane für die Drehempfindungen oder die progressiven Beschleunigungen nie von räumlichen oder von Raumempfindungen gesprochen haben. Wenn die beiden Letzteren jetzt im Vestibularapparat ein Organ für Raumempfindungen sehen wollen, so kann ich daher mit vollem Rechte behaupten, dass sie sich meiner Theorie anschliessen. Das Erstaunen Breuers, „warum Cyon so leidenschaftlich eine Anschauung bekämpft, die sich mit der seinigen wohl vertrüge" (S. 607), ist daher auffallend. Sein Bestreben, seinen statischen Sinn durchaus mit meinem Raumsinn zu versöhnen, beweist nur das grosse Zutrauen, das er zu der Richtigkeit meiner Lehre hat. Es ist daher interessant, noch ein Beispiel anzuführen, wie er sich an dieselbe anzulehnen sucht. Ich habe von der Bedeutung der hereditären Ueberlieferungen bei der Bildung unserer Raumvorstellungen gesprochen. Auf Seite 606 deutet er leise an, dass ich eine ontogenetische Entwicklung darunter verstehe, und setzt gleich als Gegensatz hinzu: „Und diese phylogenetische Entwicklung der Raumvorstellung dürfte auf den Leistungen des Vestibularapparates beruhen." Auf Seite 619 lesen wir schon: „Dass die Raumanschauung in den Empfindungen des Vestibularapparates wurzle, wie Cyon zuerst aussprach, ist ein geistreicher und fruchtbarer Gedanke. Derselbe ist von Cyon irriger Weise auf die Ontogenese angewendet worden u. s. w." Wo hat Breuer bei mir auch nur das Wort Ontogenese gelesen?

Ich habe in meiner letzten Abhandlung durch Citate aus der neuesten Schrift Mach's gezeigt, dass derselbe seine frühere Hypothese aufzugeben schien und sich meiner Theorie der Raumempfindungen des Vestibularapparats näherte. „Es ist nicht schwer zu ersehen, dass es genügen würde, die neueren Ansichten Mach's etwas näher

zu präcisiren, um sie in vollen Einklang mit meiner Theorie zu bringen.“ [1])

Breuer bestreitet meine Behauptung: „Professor Mach hat sie (seine Lehre von den Functionen der Bogengänge) heuer in einem Vortrage auseinandergesetzt [2])... Dies konnte Cyon nicht wissen...“ Jetzt, wo ich dies Dank Breuer's weiss, sehe ich noch immer nicht ein, inwiefern „ein heuer gehaltener Vortrag über die Bogengänge“ beweisen soll, dass Mach von neuem zu seiner früheren Hypothese zurückgekehrt ist. Breuer hätte doch wenigstens als Beweis Auszüge aus diesem Vortrage bringen sollen. Er zieht es aber vor, viel Aufsehen über einen nichtssagenden Lapsus calami zu machen, der beim Copiren meines Manuscripts begangen worden ist. „Die Ansicht ist nicht haltbar, dass wir zur Kenntniss des Gleichgewichts und der Bewegungen nur durch die Halbcirkelcanäle gelangen,“ hat Mach in seiner Schrift von 1886 [3]) erklärt. In meiner Schrift sind diese Worte wiedergegeben: „Die Ansicht ist nicht mehr haltbar“ etc. Inwiefern ändert dies den Sinn des Satzes? Für mich ist die darin ausgesprochene Ansicht nie haltbar gewesen. Mach hat erst im Jahre 1886 dies eingesehen.

Breuer wagt es darauf, mich zu beschuldigen, dass ich absichtlich „Zusätze ex propriis“ in meinen Citaten mache, und verspricht noch mehrere Beispiele von ähnlichen Verdrehungen der Citate. Dies Versprechen hat er aber nur so weit gehalten, dass er aus meiner Arbeit Sätze citirt, die entweder darin gar nicht enthalten oder die oft mehr als 20 Seiten von einander entfernt sind, was zur Folge hat, dass er deren Sinn unrichtig deutet! (Siehe unten S. 84.)

Als Beweis, dass ich die Mach'sche zweite Schrift nicht missverstanden habe, als ich darin eine Annäherung an meine Lehre von den Functionen der Bogengänge fand, will ich nur ein Resumé dieser Schrift anführen, die von Dr. Stern in seiner Bibliographie der Physiologie des Ohrlabyrinths gegeben hat. „Mach 134: ... Das Organ (die Bogengänge), welches auf Beschleunigungen reagirt, ist vielleicht kein Sinnesorgan, sondern löst reflectorisch Innervationen aus. Diese stellen die eigentlichen Raum- und Bewegungsempfindungen dar.“ [4])

1) a. a. O. S. 103.

2) a. a. O. S. 599.

3) Beiträge zur Analyse der Empfindungen. 1886.

4) Archiv für Ohrenheilkunde. 1895. November.

Besorgt um das fernere Schicksal seines statischen Sinnes will Breuer am Schlusse nun auch einen positiven Beitrag zu meiner Lehre vom Raumsinn liefern. Derselbe besteht darin, dass die Raumvorstellungen nicht aus „dem System der Bogengänge“, sondern aus den „Statocysten und Säckchen“ hervorgehen sollen. „Diese (die Bogengänge) haben historisch eine bevorzugte Stellung, weil ihre Coordinaten-Disposition seit Langem aufgefallen ist, während erst Rüdinger und ich gezeigt haben, dass die Nervenendstellen der Säckchen ganz ebenso in aufeinander senkrechten Ebenen liegen. Die Bogengänge sind auch fast allein dem Experiment zugänglich und werden desshalb ihre Stellung in der Physiologie beibehalten.“ [1])

Mit anderen Worten: an den Bogengängen wird durch physiologische Experimente die Bedeutung des Ohrlabyrinths für die Raumempfindungen festgestellt; dies aber nur, weil sie dem Experiment leicht zugänglich sind. Da aber Breuer aus Rüdinger's Arbeit erfahren hat, „dass die Nervenendstellen der Säckchen ganz ebenso in aufeinander liegenden senkrechten Ebenen liegen“, so schliesst er, dass die Bogengänge wohl ihre historische (?) Stellung in der Physiologie des Labyrinths beibehalten werden, ihre Functionen aber von den Statocysten werden ausüben lassen!

Das Anrecht auf diese neue Methode physiologischer Denkweise wird ihm wohl Niemand streitig machen.

III. Die Rolle des Ohrlabyrinths bei der Regulirung der Innervationsstärke.

Meine Theorie des Raumsinnes war für Breuer eine „geniale Intuition“. Meine experimentelle Feststellung der Rolle, welche die Erregungen der Nerven des Ohrlabyrinths bei der Bestimmung und Regulirung von Innervationsstärken haben, ist für ihn „ein idealer Truism“ (S. 617), mit anderen Worten: sie war so selbstverständlich, dass sie gar keiner Beweise bedürfte.

Es ist nur erstaunlich, dass vor mir weder die Forscher, welche an den Bogengängen wirklich experimentirt haben, noch die Autoren, welche, wie Breuer, über die Experimente Anderer herumgetüftelt haben, nie auch nur andeutungsweise von einer solchen Rolle der

1) a. a. O. S. 610 u. 611.

Bogengänge gesprochen haben. Wie bei meiner Lehre vom Raumsinn soll der Gedanke nahe gelegen sein, — dies genügt ja für Breuer, — und hat „gewiss auch Andern sich aufgedrängt“.

Merkwürdiger Weise polemisirt aber Breuer bei dieser Gelegenheit dagegen, dass ich in meiner Abhandlung von 1878[1]), nach Anführung der Flourens'schen Erklärung der Functionen der Bogengänge gesagt habe: „Bei der so feinen Beobachtungsgabe, die ihm eigen war, wurde Flourens zu dem Schlusse geführt, dass in den Bogengängen die die Bewegungen mässigenden Kräfte ihren Sitz haben. Diese Schlussfolgerung, die bei dem damaligen Zustande der physiologischen Kenntnisse nicht tiefer ergründet werden konnte, enthält den Keim der Wahrheit.“

Diese Sätze, sowie auch meine Citate aus der Flourens'schen Schrift, hat Breuer wiedergegeben und bestreitet nun mit Hülfe der üblichen Wortklauberei, dass Flourens von dem, was er ja selbst als „idealen Truism“ betrachtet, etwas ahnen konnte. „Was haben die forces modératrices Flourens' mit der ‚Regulirung der vom Willensorgan ausgehenden Reize und ihrer Vertheilung zwischen einzelnen Muskeln‘ gemein? Absolut nichts, und es ist darum unverständlich, warum Cyon in der Anschauung Flourens' den Keim der Wahrheit erblickte.“[2]) Auf diese Fragen kann Breuer in jedem Handbuch der Physiologie die nöthigen Antworten finden. Wenn er sich dann über die Beziehungen der Erregungen und Hemmungen bei Innervationen wird unterrichtet haben, wird er einsehen, dass meine Worte „den Keim der Wahrheit“ sogar ungenügend sind, um das Verdienst Flourens' richtig zu würdigen.

Warum sollte aber ein so gewandter Experimentator und scharfer Beobachter wie Flourens nicht das gesehen haben, was Breuer selbst als einen „idealen Truism“ bezeichnet? Weil Letzterer gern die Entdeckung dieser selbstverständlichen Wahrheit Goltz zuschreiben möchte. Ueber den Werth der Goltz'schen Versuche habe ich mich schon genügend ausgesprochen[3]). Es wäre unpassend, auf die begangenen Versehen nochmals zurückzukommen. Den Goltz'schen Schluss, dass die Bogengänge ein Sinnesorgan des Gleichgewichtsorgans bilden, will ja Breuer selbst nicht mehr gelten lassen[4]). Das

1) a. a. O. S. 330.
2) a. a. O. S. 617.
3) a. a. O. S. 38 u. f.
4) a. a. O. S. 647.

einzige Verdienst der Goltz'schen Untersuchung über die Bogengänge ist, Breuer und Andere veranlasst zu haben, über das Ohrlabyrinth speculative Betrachtungen und nebelhafte Hypothesen zu bauen. Ob die Physiologie dieses Organs viel dabei gewonnen hat, ist eine andere Frage.

Breuer wirft mir auch mehrmals vor, Purkinje's Verdienste um die Lehre von den Raumvorstellungen und die Theorie der Schwindelempfindungen hervorgehoben zu haben, — und dieselben zu hoch zu schätzen. Wer die classischen Versuche Purkinje's über den Schwindel kennt und seine präcise, mathematisch-strenge Denkweise zu würdigen versteht, wird es ganz natürlich finden, dass ich in meiner letzten Abhandlung mit Freude constatirt habe, dass meine Anschauungen über die Raumvorstellungen und den Ursprung der Schwindelempfindungen mit denen von Purkinje fast identisch sind, natürlich, abgesehen vom Sitze der Raumempfindungen, da ihm die Flourens'schen Versuche noch unbekannt waren. Die Uebereinstimmung mit den Beobachtungen und Anschauungen von so hervorragenden Physiologen wie Flourens und Purkinje betrachte ich ebenso entschieden als werthvolle Stützen meiner Lehre, — wie ich für dieselbe jede Gemeinschaft mit verschwommenen Theorieen und bodenlosen Hypothesen energisch zurückweise, die mir Breuer so grossmüthig anbietet.

IV. Die Endolymphhypothese.

Wie man sieht, ist Breuer weit davon entfernt, meine Lehre über die Functionen des Ohrlabyrinths als solche zu bekämpfen. Er überhäuft dieselbe mit Lobeserhebungen, erklärt meine Sätze für selbstverständlich und sucht nur mich zu bewegen, wenigstens den einen seiner erfundenen Sinne neben dem Raumsinn bestehen zu lassen. Ich bin daher gezwungen, auf diesen Sinn nochmals zurückzukommen, trotzdem das Unhaltbare aller der Mach-Breuer'schen Hypothesen mehr als genügend schon in meiner letzten Abhandlung nachgewiesen wurde. Auf diese Widerlegung vermeidet es Breuer einzugehen: „Ich sollte jetzt auf die Kritik unserer Anschauungen und Begründungen eingehen, welche Cyon übt. Doch glaube ich .... mich sehr kurz fassen zu können. Es folgt Missverständniss auf Missverständniss. Einige Proben werden genügen.“ (S. 646.) Diese Proben sind in der That sehr geschickt gewählt.

Meine letzte Arbeit war bekanntlich nicht nur gegen die Mach-Breuer'sche Hypothese gerichtet, sondern gegen viele andere von verschiedenen Autoren auf dem betreffenden Gebiete aufgebauten Lehren über phantastische Sinnesorgane. Breuer führt nun einige Citate an, welche sich gar nicht auf seine Schriften beziehen, und hat leichtes Spiel triumphirend auszurufen, er habe dies nie behauptet! Es ist leicht begreiflich, dass Breuer es für seine Schuldigkeit hält, als allgemeiner Vertheidiger aller schlechten Hypothesen, die in den letzten Jahren über das Ohrlabyrinth aufgestellt werden, aufzutreten. Bekanntlich pflegte er beim Erscheinen jeder neuen Untersuchung über das Ohrlabyrinth schnell mit rein speculativen Betrachtungen sich derselben anzuschliessen. Als Goltz seine Hypothese über die Lymphströmung in den Bogengängen und über den Gleichgewichtssinn aufstellte, — veröffentlichte er sofort eine Schrift über die Functionen der Bogengänge des Ohrlabyrinths (Jahrb. d. k. k. Ges. d. Aerzte), wo er die Goltz'schen Ansichten adoptirte, und zwar nicht nur über die Strömung der Endolymphe in den Bogengängen, sondern auch über deren Rolle als Gleichgewichtssinnesorgane. „Ob ein solches rapides Arbeiten (wie beim Seiltänzer) denkbar wäre, wenn die auslösenden Sensationen in der Summe aller Tast-, Gelenk- und Muskelempfindungen bestände, wie wir bisher meinten, muss dahingestellt werden. Jedenfalls sind wir, hoffe ich, nunmehr berechtigt anzunehmen, dass die auslösende Perception in den Bogengängen entsteht, und dass eben die Auslösung der Balancirreflexe der Zweck dieses Apparates ist.“ Dies schrieb Breuer im Jahr 1874. Im nächsten Jahr erschienen die Mittheilungen von Crum-Brown und Mach. Letztere wiesen die physikalische Unmöglichkeit einer Strömung der Endolymphe nach, formulirten ihre Druckhypothese und sprachen von Drehempfindungen. Sofort beeilte sich Breuer, den Goltz'schen Sinnesorgan und die Strömung zu verlassen und sich Mach und Brown anzuschliessen.

Stern[1]) resumirt diese zweite Arbeit Breuer's folgendermaassen: „Als Reizung nimmt er nicht mehr Endolymphströmung an, sondern den veränderten Druck, der die Biegungsverhältnisse der Höhrhaare ändert“ etc. Breuer selbst erzählt jetzt: „Aber 1875 lehnte ich den Ausdruck ‚Gleichgewichts-

1) l. c.

organ' ab; er sei nicht bezeichnend. . . Zur Gleichgewichtserhaltung tragen ausser dem Vestibularapparat noch bei: einerseits Tast- und Muskelempfindungen, andererseits der motorische Apparat"[1]). Die successiven Adoptionen Breuer's waren damit nicht beendet. Er wurde mit den Rüdinger'schen Arbeiten über die Nervenendigungen im Sacculus bekannt. Ich spreche im Jahre 1878 mich beiläufig darüber aus, dass die Otholitenbewegungen im Utriculus und Sacculus möglicherweise eine Rolle bei der Erregung der Nerven des Ohrlabyrinths spielen, aus: „Es wäre sogar möglich, dass die Bewegungen der Otholiten im Utriculus oder im Sacculus eine Reihe von Erschütterungen den Nervenfasern, bald des einen, bald des anderen häutigen Canales . . . . mittheilten"[2]).

Daraus entsteht bei Breuer die berühmte Otholitentheorie, die, wie ich gesagt habe (1897), „eben zu sehr an gewisse Kinderspielzeuge erinnert, die durch Bleigewichte von selbst die verticale Stellung einnehmen können"[3]).

In gewissem Sinne kann also Breuer, wenn nicht als Vater der zahlreichen Sinnesorgane, doch wenigstens als Taufpathe derselben gelten, — da seine Rolle meistens darin bestand, sie mit nicht immer „guten Namen" zu beschenken. Die „Missverständnisse über Missverständnisse", über die er sich mit Unrecht beklagt, rühren einfach daher, dass er auf sich einige Kritiken bezieht, — die ich gegen die wirklichen Urheber gewisser Sinnesorgane gerichtet habe. So protestirt er mehrmals gegen meine Aeusserung (die er übrigens falsch citirt[4]): „Soll weiteres gedeihliches Forschen auf diesem Gebiete ermöglicht werden, so muss der Boden vorerst durch sorgfältiges Lichten von all' dem Unkraut gesäubert werden, das auf demselben so reichlich gewuchert hat," — als hätte er ein Monopol auf dieses Unkraut.

Bei seiner Vertheidigung gegen meine Kritik der zahlreichen Sinnesorgane, die dem Ohrlabyrinthe zugeschrieben werden, greift Breuer noch zu anderen nicht minder sonderbaren Mitteln. Anstatt meine letzte Abhandlung zum Gegenstand seiner Polemik zu wählen — in welcher diese Kritik ausführlich dargelegt wurde —, zieht es

1) a. a. O. S. 647.
2) a. a. O. S. 339.
3) a. a. O. S. 109.
4) Breuer citirt: „nur Unkraut hat auf diesem Boden gewuchert. A. a. O. S. 607.

Breuer vor, sich an meine ältere Abhandlung von 1878 zu halten, wo seine Schriften nur beiläufig erwähnt wurden. „Einem Autor Aeusserungen anzurechnen und zu widerlegen, die er vor 20 Jahren gethan, erscheint unrecht“ [1]), sagt er. Um nun dieses Unrecht zu vermeiden, wählt Breuer eine ganz eigenthümliche Methode, diese Abhandlung zu citiren. So z. B. lässt er auf Seite 609 einen Satz aus derselben von Seite 318 gleich und ununterbrochen von einem andern Satze folgen, der auf Seite 334 herausgenommen ist, und auch diesem letzteren Satze lässt er, mit Ueberspringung mehrerer Alineas, neue Sätze folgen, ohne dies auch nur durch einige Punkte anzudeuten. So gelingt es leicht, mir anscheinende Widersprüche vorzuwerfen und sogar den Schluss zu ziehen, als wollte ich mir die Goltz'sche Hypothese aneignen.

Nur ein Beispiel dieser polemischen Manier soll hier näher angeführt werden, — weil es das Wesen der Discussion selbst betrifft. In § 29 meiner älteren Abhandlung [2]) „Der normale Erreger der Bogengänge“ erinnere ich an die Einwände, welche ich früher auf S. 293—297 gegen die Goltz-Mach'sche Endolymphhypothese angeführt habe, und sage unter Anderem: „Auch habe ich es bedauert, der Goltz-Mach'schen Hypothese angesichts der Resultate der oben erwähnten Experimente entsagen zu müssen“ [3]). Darauf entwickele ich die Hypothese über die mögliche Rolle der Otholiten, und am Ende der Seite 335 beim Schlusse dieses Paragraphen spreche ich von unserer Hypothese.

Dies giebt Breuer folgendermaassen wieder: „Cyon fühlt sich ‚zu seinem Bedauern‘ durch seine Versuche gehindert, die Lehre anzunehmen, dass durch die Trägheit der Endolymphe Kopfdrehungen zur Wahrnehmung gelangen; aber er glaubt, dass die Bogengänge durch Kopfbewegungen erregt werden, . . der physikalisch und anatomisch klaren Rotationstheorie substituirt er Vorstellungen, die theils notorisch falsch, theils vollkommen unfassbar, vag und unklar sind. Und nachdem er auf diese Weise die ‚Mach'sche Lehre‘ kritisirt hat, sagt er zum Schlusse: Unsere (Cyon's) Hypothese, dass es Kopfbewegungen sind, welche den ersten Anstoss zur Erregung der in den Canälen vertheilten Nervenendigungen geben u. s. f. Ich

1) a. a. O. S. 607.

2) S. 332. Meine Gesammelten physiologischen Arbeiten.

3) a. a. O. S. 333.

sage es ja immer, man muss sich nur ordentlich aussprechen, dann verständigt man sich schon. Nun wir uns die Mühe genommen haben, uns klar zu machen (soweit es möglich ist), was v. Cyon eigentlich meint, zeigt sich wieder, wie nahe sich die Meinungen stehen. Sie stehen sich so nahe, dass Cyon einen vier Jahre vorher im Detail ausgearbeiteten Gedanken für sein Eigenthum hält." [1])

Sogar in der Sprache Breuer's finde ich keine passenden Ausdrücke, um diese Art der Polemik zu bezeichnen. Ich habe nie gesagt, dass meine Versuche mich verhindert haben, „die Lehre anzunehmen, dass durch Trägheit der Endolymphe Kopfdrehungen zu Wahrnehmungen gelangen", — weil ich glaubte „dass die Bogengänge durch Kopfbewegungen erregt werden". Die Goltz-Mach'sche Lehre besteht ja eben darin, dass Kopfbewegungen Strömungen oder Druckveränderungen in der Endolymphe erzeugen, welche dieselbe erregen, — und dass dies unrichtig ist, habe ich durch meine Versuche bewiesen. Weiter: der Satz „Unsere Hypothese" etc. — bezieht sich auf die mögliche Rolle der Otholiten im Utrisculus und im Sacculus, welche auf drei Seiten zwischen dem Satze über mein Bedauern und diesem Satze auseinandergesetzt wurde! Der „vor vier Jahren ausgearbeitete Gedanke ist die Endolymphhypothese", — d. h. die Goltz-Mach'sche Hypothese, von der ich gesprochen, die ich, weit davon entfernt, mir aneignen zu wollen, als grundfalsch hingestellt und im Cap. II in einem besonderen Abschnitt experimentell widerlegt habe. Was aber die Rolle der Kopfstellungen beim Erhalten des Gleichgewichts anbetrifft, so habe ich dieselbe wirklich vor fünf Jahren in meiner Arbeit von 1873 experimentell festgestellt, — und dabei bewiesen, dass diese Rolle eine ganz andere ist, als Goltz es annimmt. Aber auf diesen Punkt komme ich noch zurück.

Das eben gegebene Citat aus Breuer schliesst mit den Worten: „Ob dort eine Differenz zwischen ihnen besteht, ist dem Urtheil des Lesers überlassen" [2]). Diesen Worten schliesse ich mich um so lieber an, als Breuer im Irrthum ist, wenn er auf die „relative Unzugänglichkeit der ursprünglichen Publication" [3]), die er so wahrheitsgetreu citirt, rechnet. Meine Abhandlung erschien zwei Mal in französischer und, in wörtlichen Uebersetzungen, in deutscher und

1) a. a. O. S. 614.

2) Ebendaselbst.

3) a. a. O. S. 600.

russischer Sprache[1]). Sie ist und war also jedem zugänglich, wie dies am besten die zahlreichen Zwangsanleihen beweisen, welche mehrere Autoren seit 20 Jahren darin gemacht haben.

Die Goltz-Mach'sche Endolymphhypothese vertheidigt Breuer in der That nicht gegen meine vermeintlichen Aneignungsversuche, sondern gegen meine experimentelle und kritische Widerlegung. Meine im Jahre 1878 veröffentlichten Versuche haben auf das evidenteste bewiesen, dass Ausströmungen der Peri- und Endolymphe, Compression der häutigen Canäle durch Laminaristifte, sowie das Erstarren ihrer Wände durch Gelatineeinspritzungen keines der Flourens'schen Phänomene zu veranlassen vermag. Ein Anhänger der Brown-Mach's Rotationshypothese, Spamer[2]), hat ähnliche Versuche mit demselben Ergebnisse ausgeführt. Ewald hat den häutigen Canal „durch die Plombe gegen die Wand des knöcheren Canals gedrückt oder allseitig von Amalgam umgeben und jedenfalls comprimirt"[3]), mit dem gleichen negativen Resultate. Danach kann ja über die Unhaltbarkeit der Goltz-Mach'schen Endolymphhypothese kein Zweifel bestehen. Um sie aufrecht zu erhalten, müssten zuerst Gegenversuche gemacht werden, welche das Ergebniss der unsrigen wenigstens zu entkräften suchten. Breuer vermeidet es aber wie gewöhnlich, eigene Versuche zu machen; er zieht es vor, mit Sophistereien sich aus der Schwierigkeit zu ziehen. So soll ich Mach's Erklärung missverstanden haben, trotzdem ich sowohl in der Abhandlung von 1878, als in der letzteren Mach's Worte citirte. Auch Breuer citirt diese Worte: „Ich habe daher die ursprüngliche Annahme einer wirklichen Strömung aufgegeben und angenommen, dass der blosse Drehungsmoment (der Druck) des Bogeninhaltes ohne merkliche Drehung auf die Nerven wirke." Nach Breuer soll ich nun Mach missverstanden haben, als ich vom „momentanen Druck" oder von der „Tendenz zur Bewegung", welche nach diesem Autor die Nervenendigungen erregen sollen, gesprochen. Er gibt folgende Erklärung der Mach'schen Hypothese[4]): „Der Druck, von dem Mach hier spricht, ist nicht der hydrostatische Druck der

1) Meine Ges. Arb. A.

2) Dieses Archiv Bd. 21.

3) Ueber das Endorgan der N. octavus S. 121. Wiesbaden 1892.

4) Dr. Stern gibt die Mach'sche Hypothese in folgender Form wieder: „Die Reizung wird bewirkt nicht durch die Bewegung der Endolymphe, sondern durch den veränderten Druck."

Endolymphe senkrecht auf die Canal- und Ampullenwand, sondern der Drehungsmoment der Flüssigkeit, welcher durch die Reibung an der Wand vernichtet wird, dabei aber gegen diese, vor Allem gegen die in die Flüssigkeit vorragenden Hörhaare einen momentanen Druck oder Stoss ausübt, in der Richtung der Canalachse. Wäre der Reibungswiderstand in dem engen Rohre nicht so gross, so müsste eine ausgiebige Strömung, d. h. Verschiebung des Flüssigkeitsringes in dem Canale zu Stande kommen, bei der Grösse der Reibung wird diese auf einen momentanen Stoss oder Druck reducirt. Cyon aber nimmt den Terminus-Druck im hydrostatischen Sinne als Spannung der Flüssigkeit und Wand"[1]). Also wenn ich von „momentanem Druck"[2]) oder von „Tendenz zur Bewegung" spreche — so verstand ich den hydrostatischen Druck, während, wenn Breuer in dem eben angeführten luminösen Commentar von „momentanem Druck" spricht, so versteht er darunter einen „Druck, der durch die Reibung an der Wand vernichtet wird". Ich habe natürlich nie vom hydrostatischen Druck gesprochen, und die Deutung Breuer's hat nur den Zweck, meine experimentellen Einwände gegen diese Hypothese durch die billige Behauptung zu entkräften, dass er „schon die Fragestellung dieser Versuche für irrig halten muss". Er bleibt dabei, dass der „durch die Reibung vernichtete Drehungsmoment" einer Flüssigkeit einen momentanen Stoss ertheilen kann, auch wenn diese Flüssigkeit vorher ausgeflossen ist, oder wenn der Canal comprimirt oder sogar vertrocknet (Ewald) ist! Es bleibt also nichts übrig, als Breuer seinen guten Glauben an solche Wunderdinge zu belassen.

An dem Ausbleiben der Flourens'schen Phänomene beim Ausfluss der Peri- und Endolymphe soll auch die Fixation des Kopfes schuld sein. Warum treten aber diese Phänomene trotz dieser vorübergehenden Fixation bei denselben Thieren auf, sobald man die Canäle den üblichen Eingriffen aussetzt? Für „die physiologische Vorstellung Cyon's ist beachtenswerth, dass in einem starren Rohre der Druck der Flüssigkeit nicht zunehmen kann", bemerkt Breuer, und führt als Beweis meine Worte an, wo ich sage, dass „die die Canäle einhüllende starre Scheide jede Erweiterung derselben (Dilatation der Canalwandungen) unmöglich" macht!

1) a. a. O. S. 622.

2) Gesammelte Abhandlungen S. 294.

3) a. a. O. S. 625.

Wenn es sich hier nicht darum handeln würde — ein für allemal die Physiologie des Ohrlabyrinths von den lächerlichen Hypothesen zu befreien, die bei oberflächlichen Lesern Gehör gefunden haben — so würde es wirklich nicht lohnen, sich mit einer so sonderbaren Discussionsmanier zu beschäftigen.

Der Eifer, mit welchem Breuer die Goltz-Mach'sche Endolymphhypothese vertheidigt, ist um so eigenthümlicher, als dieselbe jetzt auch für ihn ganz gegenstandlos geworden ist. Als er noch an die vielen Sinnesorgane glaubte, die im Ohrlabyrinth ihren Sitz haben sollen, — war diese Hypothese wenigstens von Nutzen. Die Bogengänge waren für den Walzersinn auserlesen; — die Endolymphhypothese war also willkommen, um die Art und Weise zu erklären, wie die Kopfbewegungen die Ampullennerven erregen sollten. Nun aber gibt er alle diese Sinne auf und behält nur einen einzigen, — dessen Natur er zwar nicht genauer bestimmt, der aber im Sacculus seinen Wohnsitz haben soll. „Die genannten Sinne sind alle ein und derselbe"[1]) erfahren wir nun; für diesen soll der schlechte Name statischer Sinn beibehalten werden. Die Bogengänge spielen, wie wir S. 8 gesehen, nur noch eine historische Rolle und sollen nur zur Bequemlichkeit beim Experimentiren da sein; die ihnen früher zugeschriebenen Functionen sollen von den Nervenendigungen im Sacculus ausgeübt werden. Nun sollten nach Breuer die Erregungsversuche der letzteren im Herumpurzeln der Otholiten liegen. Was haben dann die „durch die Reibung vernichteten Drehmomente" in der Endolymphe der Bogengänge noch zu thun übrig? Oder soll Breuer in Anbetracht meiner Bedenken, sowie der experimentellen Einwände von Hensen, Clarke u. A. auch seine Otholithentheorie, wie alles übrige, aufgegeben haben?

V. Der Sinn für die Drehempfindungen und den Drehschwindel.

Die Existenz des Drehsinnes beruhte bekanntlich 1. auf einer Hypothese — der Endolymphhypothese von Goltz, 2. auf der Mach'schen Deutung, der scheinbaren Schiefstellung der Bäume von Telegraphenstangen beim Durchfahren von Eisenbahncurven, 3. auf der Voraussetzung, dass Kopfbewegungen die Bogengänge zu erregen vermögen, und endlich 4. auf einem einzigen Versuch

1) a. a. O. S. 621.

Breuer's, nach welchem bei labyrinthlosen Tauben die compensatorischen Augen- und Kopfbewegungen wegfallen, wenn die Thiere geblendet werden.

In meinen Abhandlungen, besonders in der letzten, habe ich zur Genüge bewiesen, 1. dass die Endolymphhypothese unhaltbar ist, 2. dass die Mach'sche Deutung auf einem Irrthum beruht, indem er bei der Beobachtung die wichtigste Thatsache unterschätzt hat, nämlich, dass beim Durchfahren von Curven der Wagen wirklich schief gestellt wird durch die Erhöhung der äusseren Schiene, 3. dass die Voraussetzung über die Erregung der Bogengänge durch die Bewegungen des Kopfes unwahrscheinlich ist, und endlich 4. dass der Breuer'sche Versuch gerade das Gegentheil von dem beweist, was er beweisen sollte.

Wir haben gesehen, wie Breuer's Vertheidigung der Goltz'schen Hypothese ausgefallen ist. Gehen wir nun zur Beobachtung der Schiefstellung der Telegraphenstangen beim Durchfahren von Curven über. Ich habe durch eine Reihe von Beobachtungen gezeigt[1]), dass einige Vertheidiger des Rotationssinnes diese Beobachtung falsch gedeutet haben, weil sie einfach die Schiefstellung der Eisenbahnwaggons übersehen haben. Der Nachweis dieses Missgriffs war für Breuer um so empfindlicher, als ich die Thatsache anführte, dass ein 4jähriger Knabe beim Durchfahren einer Curve nach der Ursache gefragt hat, warum der Boden des Waggons plötzlich schief gestellt ist.

Bei der Bekämpfung meiner Einwände vermeidet es Breuer von Neuem, die Richtigkeit meiner Beobachtungen zu bestreiten oder Gegenversuche anzuführen. Die übliche Wortklauberei soll auch hier aushelfen. Ich habe auf S. 31 und 38 meiner letzten Abhandlung Mach's Deutung nicht nur mit seinen eignen Worten, sondern auch im Texte von Breuer und Kreidl wiedergegeben und fügte hinzu: „Die Erklärungen Breuer's und Kreidl's sind weniger klar als die Mach'schen.“ Ich soll, trotzdem ich die 14 Zeilen des Breuer'schen Textes wörtlich citirt habe, dennoch Mach's Deutung missverstanden haben. Er gibt daher einen neuen Commentar dieser Deutung, den ich nochmals hier wörtlich wiedergebe: „Mach, Kreidl, ich u. A. erklärten sie damit, dass wir die Richtung der Gravitation, der Verticalen empfinden, dass beim Antreten einer

1) a. a. O. S. 31 u. f.

horizontal auf unseren Körper wirkenden Centrifugalkraft, also einer horizontalen Massenbeschleunigung, diese sich mit der verticalen Gravitation zu einer mehr oder minder schiefen Resultante verbinde, wir aber eben diese nun für die Verticale halten, demnach die wirklich verticalen Linien im entgegengesetzten Sinne für schief. Wir wussten ausserdem, dass Schiefstellung des Kopfes gegen die Verticale eine dauernde, rotatorische Augenverstellung im entgegengesetzten Sinne hervorruft. Das Schiefwerden der Massenbeschleunigungsrichtung des Kopfes durch die Centrifugalkraft rufe ebenso wie die wirkliche Kopfneigung eine unbewusste Raddrehung der Augen nach der anderen Seite hervor, und darum sehen wir die verticalen Linien schief. Als Organ der Empfindung von Massenbeschleunigungen glauben wir die Otholiten-Apparate, d. h. die Nervenendigungen der Säckchen, ansprechen zu dürfen." [1])

Ich weiss nicht, inwiefern Mach mit dieser durchsichtig klaren Auseinandersetzung einverstanden sein wird, die in manchen Punkten von der ursprünglich von ihm gegebenen Deutung beträchtlich abweicht. Wenn man Breuer glauben soll, ist er der einzige, welcher Mach richtig versteht; mir scheint es wahrscheinlicher, dass es Mach mit Breuer's Commentaren ebenso geht wie Hegel, dem Heine die Worte in den Mund legte: „Nur ein Mensch hat mich verstanden, und der hat mich missverstanden."

Jedenfalls will ich hier die gegebene Erklärung als die Breuer'sche Deutung behandeln. Es soll also die Centrifugalkraft beim Durchfahren einer Eisenbahncurve „eine Schiefstellung der Massenbeschleunigungsrichtung des Kopfes" veranlassen, und „darum sehen wir die verticalen Linien schief", was wieder bei Breuer den Glauben erweckt, dass die Otholiten-Apparate das „Organ der Empfindung von Massenbeschleunigung seien". Nun, in dieser Form ist die Breuer'sche Hypothese ganz unhaltbar. Die Centrifugalkraft beim Durchfahren einer Curve, deren Radius viele hundert Meter lang ist, soll die Nervenendigungen der Säckchen erregen, in derselben Weise wie bei den Rotationsversuchen Mach's in einem Lehnstuhl! Die thatsächliche Schiefstellung der Waggons durch die höher gelegten Schienen an der äusseren Seite der Curve wurde von ihm übersehen, und wenn man ihm auf dieselbe aufmerksam macht — wird sie einfach todtgeschwiegen. Die

1) a. a. O. S. 643.

bekannte Täuschung verschwindet, wenn der Waggon offen ist, wenn man durch das Waggonfenster oder durch einen Operngucker hinausschaut — das hiesse ja für Breuer, dass die Centrifugalkraft plötzlich ihre Wirkung auf die Nervenendigungen durch die von uns angegebenen Beobachtungsbedingungen eingebüsst hat! Die nämliche Täuschung tritt auch auf, wenn man mit einer Zahnradbahn geradlinig den Berg hinauffährt. Breuer hat dies „auch gesehen" (natürlich!), „will aber darüber ohne weitere eigene Beobachtung nicht discutiren". „Aber wie es sich auch damit verhalte, mit dem von uns für die Theorie verwertheten Phänomen hat die Schiefstellung der Waggons als reines Accidens nichts zu thun." (S. 645.)

Reelle Thatsachen können natürlich für reine „aus sich selbst geschaffene" speculative Theorieen nur störend sein. Breuer übergeht daher auch mit Stillschweigen meine Citate aus der Mach'schen Schrift [1]), aus denen hervorgeht, dass auch bei seinen Versuchen mit der Rotation im Lehnstuhl dieselbe Schiefstellung übersehen worden ist. Nur die Rotationsversuche von Yves Delage scheinen von dieser Fehlerquelle frei zu sein, ohne natürlich für die Betheiligung des Ohrlabyrinths bei diesen Drehempfindungen mehr beweisend zu sein als die Mach'schen. Delage-Aubert gestanden wenigstens den Mangel jedes directen Beweises für eine solche Betheiligung.

Bis in die kleinsten Details verschmäht es Breuer, der thatsächlichen Beobachtung Rechnung zu tragen. Die schiefe Stellung des Pferdes beim Galoppiren im Circus wurde von den Anhängern des Drehsinnes als Beweis für den Sitz dieses Sinnes im Ohrlabyrinth angeführt. Der Zusammenhang dieser Beweisführung ist mir nie recht klar geworden; ich fand es dennoch für rathsam, darzulegen, auf welche Weise der Reiter dem Pferde diese Haltung aufzwingt.

Meine Erklärung hat für Breuer keinen Werth, weil sie mir meine „Erfahrung als Reiter geliefert hat". Nach ihm, der keine Erfahrungen darüber besitzt, hängt die schiefe Stellung des Pferdes von „der eben besprochenen, durch die Centrifugalkraft veränderten Perception der Verticalen ebenso wie beim Schlittschuhläufer" [2]) ab. Der Vergleich und die Erklärung sind im vollen Widerspruch mit den Thatsachen — wie jeder Schlittschuhläufer es Breuer klar

1) a. a. O. S. 301.
2) a. a. O. S. 645.

machen wird. Letzterer muss beim Beschreiben einer Curve von kleinem Radius sich mit dem Oberkörper nach innen der Curve beugen, um nicht durch die Centrifugalkraft nach Aussen geworfen zu werden. Dasselbe muss auch jeder Radfahrer, sogar auf dem Tricycle, thun, sonst wird er sammt seiner Maschine nach Aussen umgestürzt werden. Die Perception der Verticale und das Ohrlabyrinth haben nichts damit zu schaffen. Für Diejenigen, die Breuer's ungenügende Beachtung der Thatsachen bei wissenschaftlichen Discussionen nicht billigen, will ich noch hinzufügen, dass in den Circusmanegen der Fussboden an der Peripherie höher gestellt wird, und zwar theilweise aus analogen Gründen wie bei Eisenbahncurven die äusseren Schienen höher gelegt werden.

Breuer hat auch eine Consequenz seiner Deutung der betreffenden Täuschung übersehen: wenn dieselbe zutreffend wäre, d. h. wenn das Befahren einer Eisenbahncurve uns Drehempfindungen gäbe, so müssten wir beim häufigen Durchfahren von Curven, wie z. B. auf den Schweizer Bahnen, fortwährend dem Schwindel unterliegen. Dasselbe müsste eigentlich auch beim Rundfahren im Wagen auf einem Marsfelde, ja beim häufigen Umbiegen in den Strassen geschehen.

VI. Die Kopfbewegungen als Erreger des Ohrlabyrinths.

Das Unterschätzen der Schiefstellung der Waggons beim Durchfahren der Eisenbahncurven war der Ausgangspunkt einer Anzahl von Hypothesen über Erregungsvorgänge im Ohrlabyrinth. In den früheren Untersuchungen Breuer's waren diese Erregungen entsprechend den Ansichten von Crum-Brown und Mach in die Bogengänge verlegt. Breuer fand damals, dass durch zwei entgegengesetzte Druckrichtungen der Endolymphe in jedem Bogengang zwei verschiedene Empfindungen erzeugt werden. In der letzten Schrift wird diese Erregung nicht mehr in die Bogengänge, sondern in die Otholitenapparate verlegt. Irgendwelche directe oder indirecte Beweise für die Betheiligung des Labyrinths hat keiner der Vertheidiger des Drehsinns gegeben. Sie gründeten ihre Hypothesen auf die Goltz'sche Hypothese der Endolymphströmung und auf die anatomische Lage der Bogengänge, welche für eine Beeinflussung durch Drehungen des Kopfes um verschiedene Achsen als besonders günstig angesehen wurde. Was die Endolymphhypothese werth ist, haben wir zur Genüge gezeigt. Breuer entzieht nun ohne jede

weiteren Erklärungen die Drehempfindungen den Bogengängen und verlegt sie in den Sacculus; er verzichtet also auf das einzige Argument, welches bei der ursprünglichen Hypothese einigen Schein für sich hatte. Schon diese Leichtigkeit, mit welcher ein Sinnesorgan aus dem einen Organ in ein anderes verlegt wird, zeigt, wie schwankend der Glaube an das Sinnesorgan für Drehempfindungen bei seinem eifrigsten Vertheidiger geworden ist.

Versehen und Verwechselungen spielten bei dem Aufstellen der Dogmas über den Sitz der Drehempfindungen im Ohrlabyrinth eine Hauptrolle. Wir haben im vorigen Abschnitt das Versehen gezeigt. Die Verwechselung besteht in Folgendem: Flourens hat gezeigt, dass von den Bogengängen aus bei gewissen Eingriffen ganz gesetzmässige Bewegungen des Körpers und des Kopfes hervorgerufen werden. Das Gleiche habe ich auch für die Augenbewegungen festgestellt, indem ich zeigte, dass durch Reizung der einzelnen Bogengänge ganz bestimmte Nystagmusformen erzeugt werden können. Dass im Gegentheil Kopf- oder Körperbewegungen die Bogengänge zu erregen vermögen, ist nie weder direct noch indirect bewiesen worden. Dies ist eine ganz willkürliche Voraussetzung der Anhänger des Sinnes für Walzerbewegungen, dessen Organ im Ohrlabyrinth sich befinden soll, — eine Voraussetzung, die nur durch Verwechselung der Ursache mit den Wirkungen in den Flourens'schen Versuchen entstanden ist. Die Verwechselung ist ferner gefördert worden durch die bekannte, von Longet zuerst festgestellte Thatsache, dass falsche Stellungen des Kopfes zum Verluste des Gleichgewichts führen können. Durch meine Wiederholungen der Longet'schen Versuche an Hunden (Durchschneidungen der Nackenmuskeln) mit künstlicher Fixation des Kopfes, sowie durch die Erzeugungen von künstlichem Strabismus bei Tauben etc. habe ich gezeigt, dass, wenn die angewöhnten Kopfstellungen die Erhaltung des Gleichgewichts unmöglich machen, dies nur auf Störungen in den Gesichtswahrnehmungen beruht, welche uns über die Stellung unseres Körpers im Raume, sowie über die Lage und Entfernungen der uns umgebenden Gegenstände täuschen. Daher können auch bei ganz unbeweglichem Kopfe dieselben Gleichgewichtsstörungen auftreten, wenn z. B. bei der Durchschneidung der Bogengänge heftiger Augennystagmus entsteht.

Breuer, der schon in seiner zweiten Abhandlung über die Bogengänge meine Ansichten über die Rolle der Kopfstellung mit

denen von Goltz verwechselt hat, beharrt nun jetzt noch bei dieser Verwechselung, trotzdem ich schon im Jahre 1878 ihn speciell auf diesen Irrthum aufmerksam gemacht habe[1]).

Aus dieser Verwechslung allein ist es erklärlich, dass er sich von der durch nichts bewiesenen Annahme nicht lossagen kann, dass Kopfbewegungen ihrerseits die Nerven des Ohrlabyrinths zu erregen vermögen, und, wie aus der oben citirten Stelle seiner Schrift folgt, mir sogar die Urheberschaft dieser Annahme zuschreiben will: „Aber er (Cyon) glaubt, dass die Bogengänge durch Kopfbewegungen erregt werden.“ (S. 614.) Ich will daher noch folgende Sätze aus meiner letzten Abhandlung anführen: „Es ist ihnen (den Anhängern der Ansicht, dass „Kopfbewegungen die Bogengänge in den Zustand der Erregung versetzen können oder müssen“) dabei die einfache Ueberlegung entgangen, die ihren ganzen Bau zu nichte macht. Wenn die Kopfbewegungen die Bogengänge erregen und die Erregung der letzteren den Drehschwindel erzeugt, so müssten Thiere und Menschen ununterbrochen diesem Schwindel ausgesetzt werden. Denn Erregung der Bogengänge ruft nachgewiesenermaassen pendelnde Bewegungen des Kopfes hervor; sollten nun letztere ihrerseits die Bogengänge erregen, so würden wir ein Perpetuum mobile ganz sonderbarer Art erhalten, das zu einer fortdauernden rhythmischen Erregung des Ohrlabyrinths führen müsste.“ [2]) Und an einer anderen Stelle: „Der Beweis dafür, dass Kopfbewegungen die Bogengänge erregen müssen oder können, ist bis jetzt nicht erbracht, ja nicht einmal ernstlich versucht worden. Man zog es immer vor, diese Möglichkeit oder Nothwendigkeit als unzweifelhafte Prämisse anzunehmen. Wir haben schon oben hervorgehoben, dass, wenn einmal ein solcher Beweis geliefert wäre, dies nur zu Gunsten meiner Auffassung der Functionen der Bogengänge als periphere Organe für die Raum- und Richtungsempfindungen gedeutet werden könnte.“ [3])

Mehrmals drückt Breuer sein Erstaunen darüber aus, dass ich Thatsachen bekämpfe, welche so leicht als Stützen für meine Lehre von den Functionen der Bogengänge dienen könnten. Es entgeht ihm, dass es einem wissenschaftlichen Forscher nicht gestattet ist,

---

1) a. a. O. S. 291 u. f.
2) a. a. O. S. 52.
3) a. a. O. S. 76.

unbewiesene oder geradezu als falsch erwiesene Voraussetzungen als reelle Thatsachen hinzustellen, und wenn sie noch so sehr zu Gunsten seiner Theorieen sprechen.

VII. Blendung der Thiere. Die Durchschneidungen der Acustici.

Wenn auch kein directer Beweis zu Gunsten eines Sinnesorganes für den Drehschwindel im Ohrlabyrinth vorgebracht worden ist, so glaubte doch Breuer, einen indirecten Beweis geliefert zu haben — in einem Versuche, den die Anhänger dieses Sinnesorganes mit Vorliebe anführen, wenn sie ihrer Hypothese irgend eine experimentelle Stütze geben wollen.

Ich habe in meiner letzten Abhandlung sehr erschöpfend dargelegt, dass, wenn dieser Versuch irgend etwas beweist, so ist dies geradezu das Gegentheil von dem, was Breuer, Delage u. A. behaupten. Bei der Wichtigkeit dieses Versuches, der den Hauptbeitrag Breuer's zur experimentellen Prüfung der hier in Betracht kommenden Fragen bildet, soll hier noch einmal — hoffentlich zum letzten Male — auf denselben eingegangen werden. Nachdem Mach in seiner ersten Schrift[1]) die Hypothese über den Sitz des Sinnesorgans für den Drehschwindel in den Bogengängen entwickelte, sagte er ganz richtig: „Ein wichtiges Experiment würde darin bestehen, ein Thier, dessen Hörnerv durchschnitten wäre, in rotirende Bewegung zu versetzen. Solche Thiere müssen vom Rotationsschwindel frei bleiben." [1]) Dieses wichtige Experiment habe ich vor mehr als zwanzig Jahren häufig genug ausgeführt, — und zwar mit dem Resultate, dass die wichtigsten Symptome des Rotationsschwindels bei Thieren nach Durchschneidung der Acustici fortbestehen bleiben[2]). Die Frage war hiermit zu Ungunsten der Mach'schen Hypothese erledigt. Delage-Aubert erkannten dies sofort. Denn wenn der Purkinje'sche Schwindel auch nach der Durchschneidung dieser Nerven auftritt, so kann er ja nicht durch das Ohrlabyrinth verursacht werden. Sie stellten mir aber den Breuer'schen Versuch entgegen: „Breuer hat festgestellt, dass die compensatorischen Drehbewegungen bei Tauben auftreten, welche ihres häu-

1) Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen u. s. w. S. 126.
2) a. a. O. S. 298.

tigen Labyrinths beraubt waren..." Dies wäre soweit eine eclatante Bestätigung meiner Versuche mit der Durchschneidung der Acustici, — denn die Entfernung der Labyrinthe ist ja für diesen Fall identisch mit einer solchen Durchschneidung. Delage-Aubert setzen daher hinzu, dass diese compensatorischen Drehbewegungen verschwinden, wenn die labyrinthlosen Thiere „ausserdem geblendet sind". Wäre dies richtig, so konnte es „doch höchstens beweisen, dass diese Bewegungen vom Opticus abhängig seien", erwiderte ich darauf. „Dass aber der Acusticus bei denselben unbetheiligt ist, folgt mit Sicherheit aus meinen Versuchen, sowie aus denen Breuer's"[1]). Trotz der Evidenz dieser Schlussfolgerung glaubte auch Breuer in seiner Arbeit von 1890 meinen Acusticusversuch durch die Thatsache entkräften zu können, dass nach Exstirpation des Bogengangapparates die compensirenden Augenbewegungen ausbleiben, „wenn die Gesichtswahrnehmungen durch Verdecken der Augen ausgeschlossen sind" oder „wenn ein die Augen bedeckendes Häubchen die Gesichtseindrücke ausschloss"... „Das sagt ja," bemerkte ich hierzu, „trotz der unklaren Redewendung deutlich genug, dass bei labyrinthlosen Tauben die compensirenden Kopfbewegungen fortbestehen bleiben, wenn die Gesichtswahrnehmungen nicht ausgeschlossen sind".[2])

Diesmal konnte Breuer der unabweisbaren Schlussfolgerung nicht mehr aus dem Wege gehen: entweder hat sein Versuch gar keinen Sinn, oder er kann nur den einen haben, — als Beweis, dass die Ohrlabyrinthe bei den compensirenden Bewegungen unbetheiligt sind, und dass dieselben im Gegentheil von den Gesichtswahrnehmungen abhängen. Tertium non datur. Breuer hat aber dennoch einen dritten Ausweg gefunden: er verleugnet ganz einfach seinen einzigen experimentellen Beitrag — indem er auf S. 628 schreibt: „Cyon sagt weiter: ‚Breuer, Ewald und Kreidl constatirten das Fortbestehen der Rotationserscheinungen nach Exstirpation der beiden Ohrlabyrinthe'. Soll das heissen, dass wir constatirten, ein solches Thier verhalte sich bei und nach der Rotation wie ein normales und zeige Drehschwindel, so ist diese Behauptung falsch. Keiner von den Genannten hat dergleichen

1) a. a. O. S. 47.
2) a. a. O. S. 47.

angegeben. Die Autoren, auf deren analoge Versuche sich Cyon beruft, haben solche nicht publiciert."

Breuer hat mit Recht, obgleich nicht auf dem rechten Platz, das Wort „falsch" verwendet. Falsch ist in den angeführten Sätzen nur das mir zugeschriebene Citat, — welches sich nirgends in meiner Arbeit befindet! Breuer hütet sich, wie meistens bei seinen vermeintlichen Citaten, die Seiten anzugeben. Was Breuer so wahrheitsgetreu wiedergibt — sind die soeben auf Seite 96 citirten Worte von Delage —, wo weder von Ewald, noch von Kreidl die Rede ist, — und von denen er den wichtigsten Schlusssatz weglässt — wenn die „Thiere ausserdem geblendet" sind!

Es steht natürlich Jedem frei, sich von seinen Versuchen und Behauptungen loszusagen. Was aber nicht erlaubt ist, das ist, fremde Worte falsch zu citiren, seine eigenen Worte zu verleugnen und dann noch seinem Gegner vorwerfen, dass seine Betrachtungen falsch sind!

Breuer sucht nun den Verlust seines einzigen experimentellen Beitrages durch ein Experiment zu ersetzen, das ... Kreidl angestellt hat.

Er erzählt, dass er sich im Juni 1897 mit einer Katze in der Hand umgedreht hat, welcher Kreidl im December 1896 die beiden Acustici durchgeschnitten haben soll, und hat dabei „keine Spuren der compensirenden Bewegungen" gesehen. Aus dieser Umdrehung schliesst er: „Ein Säugethier ohne Acustici, bei dem die Reizerscheinungen vollständig geschwunden sind, zeigte weder compensirende Bewegungen bei langsamer, noch Drehschwindel bei rascher und anhaltender Rotation." (S. 629.) Die Beweislosigkeit dieses negativen Ergebnisses entgeht Breuer. 1) Hat diese Katze vor der Durchschneidung der Acustici bei Drehversuchen „compensirende Bewegungen gezeigt"? 2) Hat die Section auch bewiesen, dass die beiden Acustici und nur dieselben wirklich durchschnitten waren? 3) Ist denn Breuer entgangen, dass Thiere, an denen mehrmals Drehversuche gemacht wurden, sich bald an dieselben gewöhnen und nicht mehr auf Rotation in der üblichen Weise reagiren? Ich habe mehrmals bei Kaninchen diese Thatsachen beobachtet und beschrieben [1]).

1) a. a. O. S. 70—72.

Noch mehr: Breuer citirt auf derselben Seite 14 Zeilen meiner Abhandlung, wo ich angebe, warum bei Acusticusdurchschneidungen die compensatorischen Bewegungen wegfallen können, ohne dass dies im geringsten als Argument für die Existenz eines Sinnesorgans für den Schwindel im Ohrlabyrinth diene. Meine Argumentation findet er „nicht praktikabel". Als „praktikabel" erscheint ihm dagegen seine Deutung meiner zahlreichen entgegengesetzten positiven Ergebnisse, wo nach Durchschneidung bei der Acustici, die „compensatorischen Bewegungen" fortbestehen. Diese Deutung besteht darin, dass ich meine Drehversuche zu kurze Zeit nach der Durchschneidung vorgenommen habe.

Nach Breuer erlischt also die Function eines Nerven nicht sofort nach seiner Durchschneidung, sondern erst nachdem sich das Thier erholt hat!

Ein Thier, dem man die Optici durchtrennt, wird also nach Breuer nicht sofort blind — sondern erst mehrere Momente später! Und da seine Umdrehung mit der Kreidl'schen Katze auch seine eigenen früheren Behauptungen entkräftet, dass bei labyrinthlosen Thieren die compensatorischen Bewegungen erst verschwinden, wenn sie ausserdem noch geblendet werden, — so erklärt er dies folgendermaassen: „Ich konnte nicht verhindern, dass die Thiere vom vierten Tage nach der Operation an die bekannte Kopfverdrehung bekamen, und so konnte ich meine Beobachtungen immer nur an einzelnen Tagen machen, wenn die stürmische Zwangsbewegung nicht mehr und die Kopfverdrehung noch nicht bestand." [1]) Dies beweist zuerst, wie schlecht seine Versuche an Tauben ausgeführt wurden, denn bekanntlich ist es ein Leichtes, labyrinthlose Thiere ohne jede Kopfverdrehung zu erhalten. Sodann, wenn Breuer nicht nur an „einzelnen Tagen", sondern an einzelnen Stunden wirklich das Fortbestehen der compensirenden Bewegungen bei labyrinthlosen Tauben beobachtet hat, solange ihre Gesichtswahrnehmungen nicht ausgeschlossen waren und darauf deren Verschwinden bei der Blendung der Thiere gesehen hat, — so musste dies genügen, um ihn zu verhindern, aus diesen Versuchen zu schliessen, dass die compensirenden Bewegungen vom Ohrlabyrinth und nicht vom Auge abhängig sind.

In meiner letzten Abhandlung sind nun zahlreiche Versuche an geblendeten und labyrinthlosen Thieren mitgetheilt, welche auch

---

1) a. a. O. S. 635.

direct beweisen, dass die Kopf- und Augenbewegungen im Beginn der Rotation der Thiere auf der Drehscheibe von dem Bestreben der Thiere herrühren, das Netzhautbild festzuhalten: „Die Thiere bleiben mit den Augen an das Netzhautbild gefesselt und suchen dasselbe festzuhalten“ (S. 72).

Unter diesen Versuchen ist der eine, sowohl wegen seiner Einfachheit und leichten Ausführbarkeit, besonders überzeugend. Breuer citirt ihn wörtlich auf Seite 636: „Um genauer festzustellen, welchen Einfluss die Verschiebung der Netzhaut auf die Kopfwendung hat, genügt folgender Versuch: Ein Frosch wird in der Bauchlage auf das Brettchen befestigt, und zwar derart, dass sein Kopf und Vorderkörper beweglich bleiben. Auf die Drehscheibe gebracht, zeigt er bei der leisesten Drehung die bekannte Kopfwendung. Nun wird derselbe Frosch auf dem Brettchen in der Rückenlage in der gleichen Weise befestigt. Keine Spur von Kopfwendung, auch wenn die Drehung noch so lange fortgesetzt wird. In dieser Lage bleibt bei der Drehung das Netzhautbild des Frosches (die entsprechenden Theile des Brettchens) unverschoben, und der Kopf behält seine normale Stellung zum Körper“ [1]).

„Dies klingt so peremptorisch, dass mir nichts übrig blieb, die alten fundamentalen Versuche mussten wiederholt werden“ [2]), setzt Breuer hinzu. Viel einfacher wäre es zwar, diesen meinen so leicht ausführbaren Versuch nachzumachen. Dies will er nicht thun, wie er übrigens auch seinen alten fundamentalen Versuch mit der Blendung labyrinthloser Thiere nicht nachmacht. Statt dessen citirt er wie üblich einen von einem Andern ausgeführten Versuch. Diesmal soll Exner das Zeugniss ablegen. „Einem Frosche wurden die Optici von der Mundhöhle aus durchschnitten und einem anderen die Bulbi exstirpirt.“ Zwei Tage nach der Operation machten beide Frösche die Kopfwendung doch (vielleicht etwas schwächer als sehende). Es ist also falsch, dass die Kopfwendungen der Frösche ein „reines Gesichtsphänomen“ sind [3]). Wenn Exner jene darauf bezügliche Versuche ausführlich beschreiben wird, werde ich sie natürlich mit dem Ernste, der den Mittheilungen eines so eminenten Forschers gebührt, in Betracht ziehen.

---

1) a. a. O. S. 66.
2) a. a. O. S. 636.
3) a. a. O. S. 637.

Als reine Zeugenaussagen müssen sie hier bei Seite gelassen werden, und bleibt das Ergebniss meiner Versuche als richtig fest bestehen. Dies um so mehr, als Breuer auf derselben Seite, freilich nur in der Anmerkung, selbst Versuche mittheilt, die dieses Ergebniss in evidentester Weise bestätigen. Wir lesen nämlich auf Seite 637: „Ich will noch einige Versuche hier anführen: Ein Frosch wird in Bauchlage aufgebunden; ist bei Drehung reactionslos, reagirt nach 5 Minuten; Kopfwendung mässig stark; wenn das Brettchen umgedreht wird, so dass der Rücken des Thieres nach abwärts sieht, ist es wieder vollständig reactionslos. Losgebunden, locker in der Hand gehalten: reagirt; in der Hand umgedreht, mit dem Bauch nach oben, aber freiem Kopfe: reactionslos. Ein Frosch auf der Hand sitzend, reagirt; auf der Hand auf den Rücken gelegt, aber mit freiem Gesichtsfeld (sic): reactionslos."

Das sind in weniger präciser Ausführung meine oben citirten Versuche mit den absolut gleichen Ergebnissen, die Breuer selbst für peremptorisch erklärte! Wogegen streitet er also? Wozu die Behauptung, dass in meinem Versuch der in der Bauchlage befindliche Frosch keine Kopfwendungen machte — weil er hypnotisirt war? Warum das „Gefesseltsein" den Frosch hypnotisiren soll, wenn er auf dem Bauche und nicht auf dem Rücken liegt? Tausende von Fröschen werden täglich in Laboratorien „gefesselt", in allen möglichen Lagen, ohne dass man etwas von der Hypnose gemerkt hat. Dies sind lauter willkürliche Voraussetzungen; denn am Schlusse adoptirt ja Breuer selbst meine Ansicht, dass die Verschiebung der Netzhautbilder die Kopfwendung verursacht. Nur will er durchaus, dass auch das Ohrlabyrinth dabei mit betheiligt sei. Dass eine so unwahrscheinliche Behauptung doch irgend welches wissenschaftlichen Beweises bedarf — entgeht Breuer. Denn wie bisher, so auch jetzt, wird nirgends von ihm auch nur der Versuch gemacht, irgend welche Beweise anzugeben. Das Ohrlabyrinth soll durch Drehung des Thieres erregt werden — dies ein Dogma geworden, das keiner Beweise bedarf. Solange Breuer noch annahm, dass die Bogengänge dabei erregt werden, hatte die willkürliche Vermuthung wenigstens einigen Sinn, da Reizungen der Bogengänge ihrerseits wenigstens Kopf- und Augenbewegungen auslösen können. Jetzt, wo die Bogengänge nach ihm nur noch eine „historische Bedeutung" haben sollen — hat auch seine willkürliche Hypothese jeden Sinn eingebüsst. Um so mehr,

als nicht einmal der Beweis erbracht worden ist, dass auch vom Sacculus aus gesetzmässige Augenbewegungen derart ausgelöst werden können, wie ich sie bei Reizungen der Bogengänge erhalten habe.

Breuer, der sich so ziemlich von allen seinen früheren Sinnesorganen losgesagt hat, — gibt am Ende auch den für den Drehschwindel auf. Er leugnet sogar, je von dem Sitz des Drehschwindels im Ohrlabyrinth gesprochen zu haben. Der Drehschwindel soll nur „das Nachbild dieser Empfindung" der Drehung sein. Ewald soll zur Confusion Veranlassung gegeben haben, indem er das Capitel, in dem von den compensirenden und den Schwindelbewegungen gehandelt wird, etwas ungenau „Der Drehschwindel" [1]) überschrieben hat.

Breuer mag alle seine früheren Schriften verleugnen — ich glaube aber kaum, dass Mach, Delage und die anderen Vertreter der Lehre von dem Drehsinn — ebenso leicht auf ihre früheren Arbeiten verzichten werden. Bekanntlich entstanden ja die Arbeiten Mach's aus dem Bestreben, die Purkinje'schen Schwindelempfindungen zu erklären, indem er sie in die Bogengänge verlegte [2]). Es würde uns auch zu weit führen, wollten wir hier Breuer klar machen, dass der Drehschwindel nicht ein Nachbild, eine Nachwirkung der Drehempfindungen, sondern nur eine Steigerung derselben ist. Breuer verwechselt den Drehschwindel mit einigen Erscheinungen des Gesichtsschwindels, welche beim Aufhören der Drehung auftreten. Ich habe meine Theorie der verschiedenen Formen des Schwindels schon in meiner Arbeit von 1878 ausführlich dargelegt und mehrere neue Entwickelungen in der letzten Abhandlung geliefert. An diesen Auseinandersetzungen habe ich nichts zu ändern und ihnen auch nichts hinzuzusetzen. Breuer möge sie nur genauer studiren; es wird ihm dann Manches klar werden, was ihm jetzt unverständlich und widerspruchsvoll [3]) erscheint; so z. B. warum ich die Thatsache, dass Taubstumme mit angeborenem Mangel an Bogengängen keinen Begriff von Schwindel haben, als Bestätigung meiner Theorie betrachte und doch gleichzeitig behaupten kann, dass Durchschneidungen der Acustici bei Erwachsenen nicht nothwendig ihre Empfänglichkeit für den Drehschwindel einbüssen müssen. Vielleicht sogar wird er dann auch

---

1) a. a. O. S. 646.

2) Siehe oben S. 95 das Citirte aus Mach's ersten Abhandlungen.

3) a. a. O. S. 630.

das Unnütze seiner Belehrung über das Wesen des Gesichtsschwindels einsehen, die er auf Seite 642 Helmholtz und mir zu geben für nöthig hielt, weil ich den Helmholtz'schen Versuch wiederholt habe, um die Zeit zu bestimmen, welche nach dem Aussetzen der Drehung vergehen kann, ohne den Auftritt des Gesichtsschwindels beim Aufmachen der Augen zu verhindern.

VIII. Schlussbemerkungen.

„Diese Theorieen über die Functionen der Bogengänge litten in meinen Augen an dem fundamentalen Fehler, auf von anderen Experimentatoren gelieferten Beobachtungen aufgebaut zu sein, anstatt auf eigener Untersuchung zu fussen.“ Mit diesen Worten schloss ich vor 20 Jahren die Widerlegung der von Breuer und Anderen aufgestellten Hypothesen[1]).

Man sollte kaum glauben, dass es noch erforderlich ist, besonders zu beweisen, dass man auf rein speculativem Wege ohne eigene Beobachtungen und selbstständige Untersuchungen keine physiologische Probleme zu lösen vermag. Bei den so verwickelten vitalen Vorgängen ist es meistens auch dem selbstständigen Forscher nicht leicht, theoretische Schlussfolgerungen aus erhaltenen Versuchsergebnissen zu ziehen. Auf Grund fremder Beobachtungen Hypothesen bauen zu wollen, ist um so unzulässiger, als man weder eine deutliche Vorstellung von den Vorgängen, die man erklären will, besitzen, noch unmöglich sich ein richtiges Urtheil über den Werth der sich gegenüberstehenden Untersuchungen bilden kann. Die successiven Anschlüsse von Breuer an die Hypothesen von Goltz, von Crum-Brown und Mach, sowie an die Druckhypothese der Letzteren, sein Anknüpfen an die anatomischen Untersuchungen von Rüdinger über die Nervenendigungen des Sacculus und an die beiläufig von mir ausgesprochene Möglichkeit, dass die Bewegung der Otholiten im Utriculus oder im Sacculus zur Erregung der Nervenendigungen führen könnten, — um die „Otholitentheorie“ aufzubauen, und endlich seine Annäherungsversuche an meine von Preyer aufgenommene Theorie des Raumsinns, — dies Alles beweist, — wie verfehlt es ist, ohne selbstständige experimentelle Forschung sich bei der Entscheidung so complicirter Vorgänge wie die Functionen des Ohrlabyrinths durchaus betheiligen zu wollen.

1) Gesammelte physiol. Arbeiten etc. S. 290.

Freilich sucht Breuer seine experimentelle Sparsamkeit durch folgende Worte zu entschuldigen: „Was mich angeht, so liegen dieser Unterlassung persönliche Umstände zu Grunde, die mich hoffentlich entschuldigen. Ich bin praktischer Arzt; meine Arbeitszeit ist der Spätabend und die Nacht und darum mein Arbeitsraum meine Wohnung" [1]). Diese rührende Erklärung ist aber nicht stichhaltig, da weder die Veröffentlichung physiologischer Untersuchungen, noch die Erfindung neuer Sinnesorgane für praktische Aerzte obligatorisch sind. Auch besitzt die Universitätsstadt Wien genug Institute, wo ein Arzt, der ernstlich experimentiren will, alle erforderlichen Hilfsmittel und auch die nothwendige Anleituug erhalten kann.

Breuer hat es also nur sich zuzuschreiben, wenn er jetzt gezwungen ist, sich so ziemlich von allen seinen erfundenen Sinnesorganen loszusagen, und auch seinen experimentellen Beitrag zur Lehre von den Functionen des Ohrlabyrinths zu verleugnen. Nur den einen Sinn will er noch retten, für den er den „nicht guten Namen" der statische Sinn „unterdess beibehalten" will. Leider lässt er uns ganz im Unklaren, welchen Sinn dieser schlechte Name bezeichnen soll. Was soll das heissen, ein statischer Sinn für „Bewegungsempfindungen"? Das wäre ja gerade das Gegenteil von einem Sinn! Für welche Bewegungen soll auch dieser Sinn dienen? Mach stellte den Satz auf, dass wir nur die Beschleunigungen und nicht die Geschwindigkeiten empfinden. Delage, der in vielen Punkten mit Mach übereinstimmt, schreibt: „Jedes Mal wenn ich, seit ich mich mit diesen Fragen beschäftige, auf der Eisenbahn gefahren bin, habe ich mit grosser Sorgfalt meine Empfindungen analysirt, und ich erkläre, dass ich ganz und gar der Meinung des Letzteren (Cyon) bin." [2]) Ich habe nämlich nachgewiesen, dass wir die Geschwindigkeiten ebenso wie die Beschleunigungen empfinden, und dass das Ohrlabyrinth mit diesen Empfindungen nichts zu schaffen hat.

Die Lageverhältnisse unseres Körpers erfahren wir Dank unseren Gesichts- und Tastempfindungen und den mannigfachen Empfindungen, welche uns von den Haut-, Muskel- und Gelenknerven zugesandt werden. Speciell für die Kopfhaltungen habe ich schon im Jahre 1873 gezeigt, dass die falschen Vorstellungen, welche wir über dieselben bei Durchschneidungen der Bogengänge erhalten, nur von

---

1) a. a. O. S. 626.

2) Physiologische Studien über die Orientirung u. s. w. Tübingen. 1888. S. 7.

Täuschungen des Gesichtssinnes herrühren. Durch künstliche Verstellungen des Kopfes, durch Erzeugung von Strabismus werden dieselben Täuschungen mit allen ihren Folgen erzeugt. Auf einem ganz anderen Wege, aber auch durch selbstständige Experimente ist Delage zu demselben Schlusse über den Ursprung der statischen Täuschungen gekommen.

Für welche Bewegungsempfindungen soll also das überlebende Sinnesorgan von Breuer dienen? Nicht mehr als Sinn für den Drehschwindel, — nicht mehr als Organ zur Beförderung der Seiltänzerkunst, von dem Breuer jetzt nicht mehr spricht, und nicht als Gleichgewichtsorgan. Bleiben also nur die Drehempfindungen, deren Existenz durch die sogenannte compensatorischen Bewegungen sich manifestiren soll. Woher kennt Breuer die Empfindungen der Thiere, welche sie zu schwachen Kopfbewegungen veranlassen, wenn sie das Netzhautbild zu fixiren suchen? Dass diese problematischen Drehempfindungen nichts mit dem Ohrlabyrinth zu thun haben — ist schon zur Genüge festgestellt worden.

Mehrmals versichert Breuer, dass sein unbestimmtes Sinnesorgan mit schlechtem Namen und unbekanntem Wohnsitz sich sehr wohl mit meinem Raumsinne vertrüge. Da hätte er doch wenigstens sich die Mühe geben sollen, uns genauer auseinanderzusetzen, welcher Natur dieser überlebende Sinn sei. Sonst geht wohl aus seiner letzten Schrift hervor, auf welche Sinne er schon verzichtet; was bestehen soll, ist dagegen im Dunkeln geblieben.

„Wenn die Theorie dieses statischen Sinnes wirklich vernichtet ist," ruft Breuer wehmüthig aus, „so ist eine grosse Menge Arbeit umsonst geliefert worden." [1]) Dass dem so ist, liegt eben daran, dass es sich um rein schriftstellerische Arbeit handelte, die für physiologische Untersuchungen ganz unzureichend ist.

Ich habe oben die von Breuer citirten Worte Ebner's wiedergegeben: „Sage etwas, das sich von selbst versteht zum ersten Male, und du bist unsterblich." Diese Verheissung, fürchte ich, wird kaum auf den statischen Sinn Anwendung finden. Breuer hätte daher ohne Schaden auch auf den „nicht guten Namen" verzichten können, wie er auf die Sache selbst verzichtet hat. Es gibt ja viele andere Mittel, sich unsterblich zu machen. . . .

1) a. a. O. S. 621.

Untersuchungen an total Farbenblinden.

Von

Professor C. Hess in Marburg und Professor E. Hering in Leipzig.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden hauptsächlich zu dem Zwecke angestellt, die in den letzten Jahren von Ladd Franklin, A. König und insbesondere von v. Kries zur Erklärung der totalen Farbenblindheit aufgestellten Ansichten einer experimentellen Prüfung zu unterziehen. Geh. Rath v. Hippel hatte die grosse Freundlichkeit, die total farbenblinde Dame, über welche er früher eingehend Bericht erstattet hat[1]), zu einer erneuten Untersuchung im Leipziger physiologischen Institut zu veranlassen. Eine kleinere Beobachtungsreihe konnten wir auch an einer älteren, gleichfalls total farbenblinden Schwester der Dame vornehmen, welche bisher noch nicht untersucht worden war. Endlich war dem einen von uns (Hess) durch die Güte des Professor Pflüger in Bern Gelegenheit gegeben, in der dortigen Augenklinik einige einschlägige Untersuchungen an einem total farbenblinden Mädchen vorzunehmen. Ueber diesen letzteren Fall wird Professor Pflüger selbst ausführlich Bericht erstatten. —

In seinen klassischen Untersuchungen über den Sehpurpur hatte Kühne darauf hingewiesen, dass das Vorkommen des Sehpurpurs und sein Verhalten gegenüber dem Lichte in Einklang stehe mit der Hypothese Max Schultze's, nach welcher die Stäbchen nur farblose, die Zapfen überdies auch farbige Empfindung vermitteln sollen. Die „Betheiligung des Sehpurpurs am Farbensehen" fand Kühne „höchst unwahrscheinlich" und meinte, dass wir, wenn wir keine

1) Ueber totale, angeborene Farbenblindheit. Festschrift zur 200jährigen Jubelfeier der Univ. Halle. Berlin 1894.

Zapfen besässen, das Spectrum nur „in Grau schattirt, ähnlich den Farbenblinden“ sehen würden [1]). Den die Farbenempfindung vermittelnden Zapfen kämen die Stäbchen zu Hülfe, solange dieselben Sehpurpur enthalten [2]), diesen „zersetzlichsten aller Sehstoffe“, der sich nach längerem Dunkelaufenthalte „in grosser Menge darin anhäufe“. Die hohe Lichtempfindlichkeit des dunkeladaptirten Auges wäre danach also wesentlich auf den jetzt reichen Purpurgehalt der Stäbchen zurückzuführen. „Sind die zapfenlosen Geschöpfe des Purpurs beraubt, so bleiben sie so lange blind, bis das Epithel neuen geliefert hat, während die mit Zapfen versehenen Thiere mittelst des zweiten, vollkommeneren Apparates im Auge, der höchstwahrscheinlich auch allein farbige Empfindung vermittelt, unter gleichen Umständen fortfahren zu sehen.“

Dieser Hypothese über die Function der Stäbchen und Zapfen und über die Bedeutung des Sehpurpurs, welche Kühne mit grosser Vorsicht und nicht ohne mancherlei Bedenken zu äussern, aufstellte, hat sich neuerdings neben Anderen auch v. Kries angeschlossen. Da dieselbe jedoch zwar mit der Theorie der Gegenfarben in Einklang steht, nach welcher das Weiss eine besondere, von den farbigen Empfindungen relativ unabhängige Variable des Gesichtssinnes ist, nicht aber mit der von v. Kries vertheidigten Theorie von Young-Helmholtz, nach welcher Weiss ein Gemisch oder eine Resultirende aus drei farbigen Grundempfindungen sein und nur durch das Zusammenwirken dreier Faserarten entstehen soll, so hat v. Kries der Kühne'schen Hypothese eine weitere hinzugefügt. Diese besagt, dass es zweierlei Weiss gebe, ein seiner Entstehung nach einfaches, wie es auch die Theorie der Gegenfarben annimmt, welches er als „monochromatisches“ Weiss bezeichnet, und ein in Gemässheit der Theorie von Young-Helmholtz entstehendes Dreifaser-Weiss, welches er als „trichromatisches“ bezeichnet.

Bei dieser Auffassung folgt v. Kries zum Theile A. König, der auch schon, wenngleich in etwas anderer Weise, eine „monochromatische“ und eine „trichromatische“ farblose Empfindung unterschied.

---

1) Ueber den Sehpurpur. Untersuchungen aus dem physiologischen Institut in Heidelberg 1878. S. 93.

2) Das Sehen ohne Sehpurpur, ebenda S. 137, Hermann's Handb. d. Physiologie Bd. 3, Theil 1 S. 332.

Indem v. Kries das Dreifaser-Weiss nur von den Zapfen vermittelt werden lässt, erscheinen nunmehr diese bei ihm als die alleinigen Träger der Theorie von Young-Helmholtz, während den das einfache Weiss vermittelnden Stäbchen eine mehr im Sinne der Theorie der Gegenfarben gelegene Function zugewiesen wird.

Diese Unterscheidung eines „monochromatischen" und eines „trichromatischen" Weiss ist (insofern nicht A. König auf die Priorität des Gedankens Anspruch machen will) das eigentlich Neue bei v. Kries, dessen Hypothese man kurz als die Hypothese vom Einfaser-Weiss und Dreifaser-Weiss bezeichnen kann. Es ist nothwendig, die Hypothese von Kühne und die von v. Kries streng auseinander zu halten. Die erstere fordert durchaus nicht die weitere Annahme, dass das von den Zapfen vermittelte Weiss durch das Zusammenwirken dreier Faserarten entsteht, und ist überhaupt ganz unabhängig von den Vorstellungen, die man sich von dem Zustandekommen des Zapfen-Weiss machen will, während die v. Kries'sche Hypothese einen Versuch darstellt, die Dreifasertheorie, gegenüber der von ihren Gegnern nachgewiesenen relativen Unabhängigkeit der Weissempfindung von den Farbenempfindungen, wenigstens für die Zapfen aufrecht zu erhalten.

Die v. Kries'sche Hypothese von dem doppelartigen Weiss darf auch nicht verwechselt werden mit Kühne's Annahme mehrfacher Sehstoffe[1], welche in ähnlicher Weise von Haab[2]) gemacht worden ist. Denn es könnte z. B. das Licht im Zapfenapparat mit Hülfe eines anderen lichtempfindlichen Stoffes dieselbe einfache Art der Nervenerregung hervorrufen, die es im Stäbchenapparat mit Hülfe des Sehpurpurs erweckt.

Kühne hatte, wie gesagt, bemerkt, dass wir, wenn unser Sehorgan keine Zapfen, sondern nur Stäbchen besässe, das Spectrum so, wie der total Farbenblinde sehen müssten, nämlich nur in Grau schattirt. Umgekehrt schliesst nun v. Kries, wie schon früher Ladd Franklin[3]) und A. König[4]) aus dem Fehlen der Farbenempfindung bei den total Farbenblinden auf ein Fehlen der Zapfen und vermuthet, dass in den von Donders, Hering, v. Hippel, A. König und Anderen beschriebenen Fällen „lediglich Mangel oder

---

1) Hermann's Handb. d. Physiol. Bd. 3, Theil 1 S. 332. 1879.
2) Der Sehpurpur, Correspond.-Blatt d. Schweizer Aerzte. 1879.
3) Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. Bd. 4. 1892.
4) Sitzungsber. d. Berliner Akad. 1894. S. 577.

Functionsunfähigkeit des Zapfenapparates vorliegt, während die sonstigen Verhältnisse, insbesondere die räumliche Vertheilung der Stäbchen, mit der Norm übereinstimmen" [1]), und dass also der Monochromat nur „mit seinen Stäbchen sieht" [2]).

Schon A. König hatte sich in der eben erwähnten Abhandlung über den menschlichen Sehpurpur, in welcher er die seltsame Behauptung von der Blaublindheit der Fovea des normalen Auges aufstellt, dahin geäussert, „dass jeder total Farbenblinde in seiner Fovea völlig blind sein muss" (wobei er, beiläufig gesagt, die „Fovea" der älteren Autoren mit dem stäbchenfreien Netzhautbezirke identificirte und desshalb dem letzteren nur einen Durchmesser von 0,24—0,3 mm = 55—70 Winkelminuten zuschrieb). Bei Untersuchung eines total Farbenblinden fand König, „in fast unerwarteter Bestätigung seiner Ueberlegung, dass thatsächlich in dem Gesichtsfelde des rechten (allein brauchbaren) Auges dicht an der rechten Seite des Fixationspunktes eine selbst für hellleuchtende kleine weisse Flächen blinde Stelle lag".

Wenn, wie Max Schultze wollte, die Vermittelung der farblosen Empfindung eine den Zapfen und Stäbchen gemeinsame Function ist, die farbige Empfindung aber ausschliesslich von den functionell weiter differenzirten Zapfen vermittelt wird, so könnte man etwa (wie schon Ladd Franklin) vermuten, dass beim total Farbenblinden der Zapfenapparat betreffs seiner Leistungen auf der Stufe des Stäbchenapparates stehen geblieben sei und ebenfalls nur farblose Empfindung zu vermitteln vermöge, welchenfalls jedoch ein centraler blinder Fleck nicht vorhanden sein würde. Eine andere, aber gleichfalls einen centralen blinden Fleck ausschliessende Annahme wäre die, dass der Zapfenapparat sich nicht einmal rudimentär entwickelt hätte, und dass in Folge dessen die Sehzellenschichte nur durch einen lückenlosen Stäbchenapparat repräsentirt wäre. Die Annahme aber, dass der Zapfenapparat zwar vorhanden sei, aber angeborener Weise gar nicht fungire, erscheint für den Biologen ebenso befremdend, wie die Annahme, dass die Zapfen mangeln, „während die räumliche Vertheilung der Stäbchen mit der Norm übereinstimmt". Denn sollte Letzteres der Fall sein, wie v. Kries annimmt, so müsste überall dort, wo normaler Weise sich die Zapfen

1) Physiol. Centralbl. Bd. 8 S. 696.
2) Ber. d. naturforschenden Gesellsch. zu Freiburg Bd. 9 Heft 2. 1894.

finden, etwas Anderes deren Stelle einnehmen. Was das sein soll, darüber hat v. Kries sich nicht ausgesprochen.

Die im Folgenden mitgetheilte Untersuchung zweier total Farbenblinder hat ergeben, dass eine centrale blinde Stelle in ihren Augen nicht nachweisbar ist. Das Gleiche fand sich bei der dritten Farbenblinden, über welche Professor Pflüger berichten wird. Sollten diese also, wie König und v. Kries meinten, keine Zapfen besitzen, so müsste deren Stelle auf der Netzhautmitte lückenlos durch Stäbchen vertreten sein. Dass aber auch eine solche Annahme mit den v. Kries'schen Auffassungen nicht vereinbar wäre, lehrt das Folgende.

Nach der eingangs besprochenen Hypothese von Kühne würde die grosse Lichtempfindlichkeit des dunkeladaptirten Auges wenigstens zu einem wesentlichen Theile auf die Anhäufung des Sehpurpurs in den Stäbchen zurückzuführen sein, daher die stäbchenfreie Netzhautmitte an der Steigerung der Empfindlichkeit, soweit diese durch den Sehpurpur bedingt ist, nicht theilnehmen könnte. Damit würde die längst bekannte Thatsache im Einklange sein, dass das dunkeladaptirte Auge sehr lichtschwache Objecte (wir sprechen im Folgenden immer von zusammengesetztem „weissen" Lichte), die es indirect noch hell und relativ deutlich sehen kann, bei directer Betrachtung nur schwach und undeutlich, bezw. gar nicht mehr wahrnimmt, insoweit die Erklärung dieser centralen Minderempfindlichkeit aus der Absorption des Maculapigmentes unzureichend ist. Da jedoch die Lichtempfindlichkeit des dunkeladaptirten Auges schon innerhalb des stäbchenfreien Bezirkes vom Centrum nach der Peripherie zunimmt [1]), und überhaupt eine der Vertheilung der Lichtempfindlichkeit im dunkeladaptirten Auge entsprechende Vertheilung des Sehpurpurs bis jetzt nicht nachgewiesen ist, so ist die Beweiskraft der centralen Minderempfindlichkeit bei Dunkeladaptation für die Kühne'sche Hypothese zum Mindesten zweifelhaft: auch hat Kühne sie nicht als Stütze für dieselbe verwendet. v. Kries, dem die Thatsache nicht bekannt war, dass noch innerhalb der stäbchenfreien Netzhautzone im dunkeladaptirten Auge die Empfindlichkeit mit dem Abstande vom Centrum wächst, durfte in der centralen Minderempfindlichkeit eines solchen Auges einen Wahrscheinlichkeitsbeweis

1) Vgl. Hering, Ueber das sogenannte Purkinje'sche Phänomen, Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 60 S. 535 und Koster, Untersuchungen zur Lehre vom Farbensinn, Arch. f. Ophthalm. Bd. 39 Heft 4 S. 1.

für die Kühne'sche Hypothese sehen. Da nun die von uns untersuchten total Farbenblinden auf der Netzhautmitte nicht, wie König und v. Kries meinten, blind sind, ihre Netzhaut also, wenn sie keine Zapfen besässe, an dieser Stelle lückenlos mit Stäbchen ausgerüstet sein müsste, so dürfte sich bei ihnen die centrale Minderempfindlichkeit der dunkeladaptirten Netzhaut nicht zeigen. Denn diese Minderempfindlichkeit soll ja nach v. Kries im normalen Auge lediglich dadurch bedingt sein, dass die Netzhaut an dieser Stelle nur Zapfen enthält. Die Untersuchung der erwähnten Farbenblinden hat aber ergeben, dass ihre Augen bei Dunkeladaptation in Bezug auf die centrale Minderempfindlichkeit sich dem normalen Auge analog verhalten. —

Wenn wir nach ausgiebiger Dunkeladaptation schwächste Lichtreize nur mittelst der jetzt purpurreichen Stäbchen empfinden, während für die minderempfindlichen Zapfen solche Reize unterhalb des Schwellenwerthes bleiben (wie dies aus Kühne's und Haab's Vermuthungen über die Function des Sehpurpurs folgen würde), so muss unser dunkeladaptirtes Auge bei einer unterhalb des Schwellenwerthes für die Zapfen liegenden Beleuchtung ebenso ausschliesslich mit Hülfe der Stäbchen sehen, wie nach der Ansicht von v. Kries das total farbenblinde Auge bei jeder beliebigen Beleuchtung. Von dieser Ueberlegung ausgehend sucht v. Kries[1]) „durch Benutzung sehr geringen bläulichen Lichtes unter Ausschliessung der Zapfen die ‚Stäbchenschärfe' in der üblichen Maasseinheit mit Benutzung Snellen'scher Haken zu bestimmen". Er fand mit hellen Objecten auf dunklem Grunde für sich selbst eine Sehschärfe von 1/4—1/5, für B. 1/5—1/7, mit dunklen Objecten auf hellem Grunde für sich 1/5—1/8, für B. 1/8—1/9. Da nun bei angeborener totaler Farbenblindheit für die Sehschärfe ähnliche Werthe gefunden wurden, so sieht v. Kries hierin eine Bestätigung dafür, dass die total Farbenblinden nur „Stäbchenseher" sein sollen.

Dieser Schluss wäre nur unter der (nicht eben wahrscheinlichen) Voraussetzung zulässig, dass die „Stäbchensehschärfe" innerhalb enorm weiter Grenzen unabhängig ist von der Stärke der Beleuchtung. Denn sonst wäre doch nicht zu erwarten, dass die Sehschärfe eines nur mit seinen Stäbchen sehenden normalen Auges bei einer minimalen

---

1) Centralbl. f. Physiol. Bd. 8 S. 697. 1895.

Beleuchtung dieselbe sein werde, wie die Sehschärfe eines ebenfalls nur mit seinen Stäbchen sehenden total farbenblinden Auges bei Tagesbeleuchtung. Es hat jedoch, wie unten gezeigt werden wird, die Untersuchung der total Farbenblinden ergeben, dass auch ihre Sehschärfe abnimmt, wenn man, ausgehend von dem für sie geltenden Optimum der Beleuchtung, die letztere mehr und mehr herabsetzt, und zwar auch dann, wenn man den Augen Zeit lässt, sich für Dunkel zu adaptiren.

Endlich möchte v. Kries auch die bei vielen total Farbenblinden gefundene Lichtscheu aus einem Zapfenmangel erklären. Er sagt: „Die Eigenthümlichkeit der Stäbchen, ein Dunkelapparat zu sein, macht besonders eine bei den Monochromaten fast durchgängig besonders hervorgehobene Eigenthümlichkeit begreiflich, nämlich die Lichtscheu, das bessere Functioniren bei geringen Lichtstärken." Wenn aber „lediglich" (s. o.) der Mangel oder die Functionsunfähigkeit des Zapfenapparates die totale Farbenblindheit bedingt, und wenn, wie v. Kries annimmt, die Stäbchen, mit denen diese Farbenblinden ausschliesslich sehen sollen, „auch bei starker Reizung nicht die Empfindung grosser Helligkeit, sondern nur die eines mässig hellen Grau zu liefern vermögen", so wäre zwar „das bessere Functioniren bei geringen Lichtstärken", wegen des mit abnehmender Beleuchtung zunehmenden Purpurgehaltes der Stäbchen, zu erwarten, aber doch gewiss keine Lichtscheu, man müsste denn unter Lichtscheu etwas ganz Anderes verstehen wollen, als in der Ophthalmologie darunter verstanden wird.

Nach der v. Kries'schen Hypothese wäre ja das schlechtere Sehen der total Farbenblinden bei stärkerer Beleuchtung darauf zurückzuführen, dass dabei der Sehpurpur ihrer Stäbchen zu stark abnimmt, daher sie dann nicht einmal mehr „mässig helles Grau", sondern nur dunkles Grau trotz starker Beleuchtung empfinden könnten. Nicht über „Belästigung durch helles Licht", also über zu helle, sondern über zu dunkle Empfindung würden daher die total Farbenblinden zu klagen haben, und nicht das Gefühl der Blendung durch zu starken Lichtreiz würden sie haben, sondern es würde ihnen bei zu starkem Lichte immer dunkler vor den Augen werden müssen. Dasselbe Licht, welches den total Farbenblinden blendet, müsste in viel höherem Grade uns blenden: denn jene sollen sich ja „lediglich" durch den Mangel der Zapfen von uns unterscheiden, daher bei uns zu der durch die Stäbchen bedingten Helligkeits-

empfindung noch die durch die Zapfen bedingte hinzukommen müsste. Der Zapfenapparat allein soll aber „in seinen Empfindungseffecten sehr hohe Werthe erreichen können".

Wir haben uns durch besonders darauf gerichtete Fragen bei den total Farbenblinden überzeugt, dass sie sich bei stärkerer Beleuchtung nicht durch eine zu geringe, sondern durch zu grosse Helligkeit ihrer Empfindung gestört finden, und dass eine wirkliche Lichtscheu bei ihnen vorliegt, für welche der v. Kries'sche Erklärungsversuch ganz und gar nicht genügt. Zudem steht dieser mit seinen eigenen Anschauungen in Widerspruch.

Die von v. Kries betreffs der total Farbenblinden entwickelten Ansichten haben sich somit sämmtlich nicht bestätigt: Weder lässt sich bei ihnen ein centraler blinder Fleck nachweisen, noch fehlt ihnen bei Dunkeladaptation die centrale Minderempfindlichkeit der Netzhaut. Ihre Sehschärfe ist bei einer bis etwas unter den centralen Schwellenwerth der farbentüchtigen Netzhaut herabgesetzten Beleuchtung keineswegs ungefähr dieselbe wie beim Optimum der Beleuchtung, und ihre Lichtscheu lässt sich nicht in der von v. Kries gewollten Weise erklären.

Richtig ist, dass auch für die hier untersuchten total Farbenblinden die Curve der farblosen Reizwerthe der verschiedenen Lichter des Spectrums bei Helladaptation jedenfalls sehr angenähert denselben Verlauf hat, wie für das dunkeladaptirte farbentüchtige Auge bei sehr geringer Lichtintensität, wie dieses von Hering für den total farbenblinden K. nachgewiesen worden ist, und dass der Verlauf dieser Curve dem Verlaufe der seinerzeit von Kühne mitgetheilten Absorptionscurve des Sehpurpurs insofern ähnlich ist, als die Ordinaten für Roth und Orange in beiden Curven äusserst niedrig sind und die Gipfel der beiden Curven im Grün liegen. Diese schon seit dem Jahre 1890 bekannte, neuerdings von A. König besonders betonte Analogie im Verlaufe beider Curven bietet jedoch keine zureichende Grundlage für die betreffs der totalen Farbenblindheit von v. Kries gezogenen Folgerungen, welche sich übrigens, wie wir sahen, auch gar nicht bestätigt haben.

Kühne könnte mit seiner Bemerkung, dass wir mit einer Netzhaut, welche keine Zapfen besässe, total farbenblind sein würden, ganz recht haben, ohne dass doch daraus das Fehlen der Zapfen im

total farbenblinden Auge folgen müsste. Wenn freilich die v. Kries'sche Hypothese vom doppelartigen Weiss richtig und also die Vermittelung der Weissempfindung durch die Zapfen nur insofern möglich wäre, als letztere zugleich farbige Empfindung zu erzeugen vermögen, dann würde das Fehlen des Farbensinnes zugleich die Unmöglichkeit des „trichromatischen" Weiss und also Mangel oder Functionsunfähigkeit der Zapfen bedeuten. Aber diese Hypothese vom doppelartigen (Einfaser- und Dreifaser-) Weiss steht, wie schon oben gezeigt wurde, mit der Schultze-Kühne'schen Hypothese in keinerlei nothwendigem Zusammenhange. Sie ist jedoch die eigentliche Wurzel der (wie wir sahen, nicht zutreffenden) Vermuthungen, welche v. Kries in Betreff der total Farbenblinden gehegt hat.

Das jetzt 30jährige Frl. F. ist von Geburt an total farbenblind [1]). Sie gibt an, seit Geburt schwachsichtig und kurzsichtig gewesen zu sein und früher an Nystagmus gelitten zu haben. Gegenwärtig ist derselbe so weit geschwunden, dass die Patientin bei gewöhnlicher Blickrichtung die vorgehaltenen Objecte mit unbewegtem Auge längere Zeit fixiren kann. Nur bei stärkerer Seitwärtswendung des Blickes tritt etwas Nystagmus auf.

Die Sehschärfe beträgt, an einem hellen Tage in einem weissgetünchten Raume mit Snellen'schen Buchstaben geprüft = 5/36. Wird vor das untersuchte Auge ein schwarzes Diaphragma mit kleiner centraler Oeffnung von ca. 1 mm Durchmesser gesetzt, so steigt die Sehschärfe auf 5/24. Prüfung mit dem Hering'schen Fallapparat, sowie mit dem Stereoskop ergibt, dass sie vollkommen gutes stereoskopisches Sehen besitzt, obwohl eine mässige dynamische Divergenz am linken Auge nachweisbar ist.

Durch Convex- sowie Concav- und Cylindergläser liess sich keine nennenswerthe Besserung des Sehvermögens erreichen.

Patientin liest fliessend Jäger Nr. 1 in 7—8 cm Entfernung. Sie vermeidet dabei die Nähe des hellen Fensters, wie sie überhaupt gedämpfte Beleuchtung einer sehr hellen vorzieht. Eine wirkliche

1) Sie verhält sich nach v. Hippel's sorgfältigen Untersuchungen bezüglich der Wahrnehmung der (ihr farblos erscheinenden) farbigen Lichter ganz so, wie es von Hering auf Grund der Untersuchung eines total Farbenblinden dargelegt worden ist.

Lichtscheu ist indessen gegenwärtig nur in geringem Maasse vorhanden: in einem sehr hellen, etwas sonnigen Zimmer mit weissen Wänden verweilte sie ohne lästiges Gefühl von Blendung oder das Bedürfniss, die Lider zusammenzukneifen.

Bei der früheren Untersuchung durch Herrn Geh. Rath v. Hippel hatte sie angegeben, helles Licht sei ihr sehr unangenehm und bewirke das Auftreten eines weissen Nebels, der alle Gegenstände verschleiere. Bei der diesmaligen Untersuchung widerholte sie diese Angabe in Bezug auf directen Sonnenschein. Die ältere Schwester verhielt sich bezüglich der Sehschärfe sowie der Lichtscheu annähernd ebenso wie die Patientin.

Zunächst wurde von uns die Lage des dem Sehnerveneintritte entsprechenden blinden Fleckes für das rechte Auge der Patientin in der folgenden Weise bestimmt: Sie fixirte mit diesem Auge aus ca. 2 m Entfernung eine kleine weisse Scheibe von 2 mm Durchmesser, die auf einer gleichmässig schwarzen Wand in Kopfhöhe angebracht war. Eine zweite weisse Scheibe von 4 mm Durchmesser, die an einem mattschwarzen Drahte befestigt war, wurde in der temporalen Gesichtsfeldhälfte bewegt, und die Stellen aufgesucht, an welcher sie für die Patientin unsichtbar wurde. Es ergab sich, dass dies angenähert an denselben Stellen der Fall war, wie bei uns.

Diese Untersuchung zeigt, dass die Patientin mit genügender Präcision zu fixiren im Stande ist, und dass die zum Fixiren benutzte Netzhautstelle bei ihr angenähert die gleiche Lage zur Sehnerveneintrittsstelle hat wie bei uns.

Durch eine weitere Versuchsreihe bemühten wir uns, den nach König und v. Kries zu erwartenden Gesichtsfelddefect an der Stelle des directen Sehens zu ermitteln. Bei der guten Beobachtungsgabe der Patientin und ihrer Fähigkeit, gut zu fixiren, müsste ein solcher unschwer nachzuweisen sein, selbst wenn, wie v. Kries will, der stäbchenfreie Netzhautbezirk, auf einen Abstand von 1 m projicirt, nur einen Durchmesser von 35—38 mm hätte. Unsere Versuche hatten ausnahmslos ein negatives Ergebniss. Es war uns auf keine Weise möglich, einen der Fovea entsprechenden Gesichtsfelddefect nachzuweisen.

Wenngleich die weiter unten ausführlicher mitgetheilten Beobachtungen am dunkeladaptirten Auge dafür schon den unzweideutigen Beweis liefern, so mögen doch auch einige speciell in dieser Richtung angestellte Versuche hier Platz finden.

Auf einer grossen, gleichmässig mattschwarzen Fläche waren fünf kreisrunde weisse Scheibchen von 2 mm Durchmesser in Form eines stehenden Kreuzes so aufgelegt, dass der gegenseitige Abstand der Scheibchen ca. 1 cm betrug. Die Patientin blickte mit gut fixirtem Kopfe aus einem Abstande von 45 cm (monocular) senkrecht von oben auf die Fläche. Die Versuche wurden in einem mässig hellen Raume vorgenommen. Der Durchmesser des dem stäbchenfreien Bezirke entsprechenden Gebietes beträgt; auf diesen Abstand projicirt,[1]) 15, 6—17,1 mm. Ist die Fovea wirklich blind und benutzt die total Farbenblinde „eine Randstelle"[2]) zum Fixiren, so müssen bei dieser Versuchsanordnung für die Patientin, wenn sie das Auge abwechselnd auf einen oder den andern der fünf Punkte gerichtet hält, nothwendig einzelne der nicht fixirten Scheibchen unsichtbar werden. Dies war aber niemals der Fall, vielmehr machte sie stets die präcise Angabe, dass sie immer alle fünf Punkte, und zwar alle angenähert gleich hell und gleich deutlich sehe, einerlei, welchen derselben sie fixire. Da sie durch den Nachweis des Mariotte'schen Fleckes in ihrem Auge das Verschwinden heller Flecke im Gesichtsfelde kannte und, wie erwähnt, gut zu fixiren im Stande war, so sprechen diese Beobachtungen mit Entschiedenheit gegen das Vorhandensein eines der Fovea entsprechenden Gesichtsfeldausfalles.

Von besonderer Wichtigkeit erschien es im Hinblick auf die oben erwähnten Hypothesen, Versuche bei stark herabgesetzter Beleuchtung und mehr oder weniger für Dunkel adaptirtem Sehorgan vorzunehmen.

Es ist eine den Astronomen seit langer Zeit wohlbekannte, u. A. schon von Arago erwähnte Thatsache, dass man unter gewissen Umständen sehr lichtschwache Sterne bei indirecter Betrachtung

---

1) Nach v. Kries.

2) A. König will die bei total Farbenblinden gewöhnlich gefundene geringere Sehschärfe in der folgenden Weise erklären: „Indem die Fovea hier völlig blind ist, fällt die Stelle der sonstigen höchsten Sehschärfe fort, und diese erreicht bereits am Rande der Fovea ihr Maximum, welches sich nicht sehr von dem hier unter normalen Verhältnissen bestehenden Grade der Sehschärfe unterscheidet. Hat sich auf diesem Fovearande kein Fixationspunkt fest ausgebildet, so wird bald diese, bald jene Randstelle zum Fixiren benutzt, und das Auge macht stetig kleine Bewegungen." Bei dem von ihm selbst untersuchten total Farbenblinden war übrigens kein Nystagmus vorhanden, „es bestand aber auch ein gut ausgebildeter Fixationspunkt".

heller und deutlicher sehen kann, als bei directer. Ganz allgemein erscheinen bei Betrachtung mit genügend für Dunkel adaptirtem Auge lichtschwache Gegenstände von nicht zu grosser Ausdehnung auf der fovealen Netzhaut merklich weniger hell und weniger deutlich als auf der extrafovealen. Unter günstigen Versuchsbedingungen und insbesondere bei sehr geringer Lichtstärke des zu fixirenden Objectes kann dieses bei directer Betrachtung vollständig unsichtbar werden.

In den letzten Jahren haben, wie gesagt, König und v. Kries diese Erscheinung durch die Annahme zu erklären versucht, dass bei stark herabgesetzter Beleuchtung nur noch die Stäbchen functioniren sollen, während der Zapfenapparat bezüglich seiner Function auf eine etwas grössere Lichtstärke angewiesen sein soll.

Die einschlägigen Erscheinungen beweisen aber an sich nur, dass die nur Zapfen haltende Netzhautmitte langsamer und auch unvollständiger adaptirt, als die Umgebung, so dass zwischen centraler und paracentraler Netzhaut nur ein quantitativer Unterschied angenommen zu werden braucht, nicht aber ein qualitativer, wie die genannten Autoren wollen.

Die Abnahme der scheinbaren Helligkeit, in welcher ein lichtschwaches Object unter den angeführten Versuchsbedingungen gesehen wird, bezw. sein Verschwinden, gibt somit dem normalen Auge einen guten Anhaltspunkt dafür, dass wirklich central fixirt wird. Diese Erscheinung bietet uns die Möglichkeit besonders günstiger Beobachtungsbedingungen für die vorliegenden Fragen.

Unsere Versuchsanordnung war die folgende[1]):

In der Thüre des Dunkelzimmers befand sich in Kopfhöhe ein geeigneter Ausschnitt, in welchen ein schwarzer Carton lichtdicht eingepasst war. In der Mitte des Cartons waren fünf kreisrunde Löcher von je 5 mm Durchmesser in Form eines stehenden Kreuzes so angebracht, dass die einander zugekehrten Ränder je zweier Löcher um 20 mm von einander entfernt waren. Das Auge der Patientin befand sich während der Versuche in einem Abstande von ca. 130 cm von den Löchern. Die von den Endpunkten des Kreuzes zum Auge gelangenden Richtungsstrahlen schlossen also einen Winkel

1) Sie schliesst sich im Wesentlichen der zuerst von Hering zur Untersuchung des Purkinje'schen Phänomens beschriebenen Methode an (Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 60 S. 522).

von ca. $2^1/_2{}^0$ (genauer = 2^0 25') ein. Bei genauer Fixation des mittleren Loches wurde jedes der 4 anderen auf einer ca. $1^1/_4{}^0$ excentrisch gelegenen Netzhautstelle abgebildet.

Die Löcher wurden von rückwärts erleuchtet durch einen gleichmässig weissen Schirm, der in einem an das Dunkelzimmer anstossenden Hellzimmer aufgestellt war und unter beliebigem Winkel gegen das einfallende Licht gedreht werden konnte. Durch Variiren dieses Winkels sowie der Grösse der Fensteröffnung konnte den Löchern innerhalb weiter Grenzen jede beliebige Helligkeit gegeben werden.

Zunächst wurden dieselben nun so schwach erleuchtet, dass die Patientin, sowie eine normale Vergleichsperson beim Betreten des Dunkelzimmers im ersten Augenblicke von den Löchern nichts wahrnehmen konnten. Nach Adaptation von einigen Minuten wurden sie — ungefähr gleichzeitig für die Patientin und für uns — als feine, etwas hellere Pünktchen in der dunklen Umgebung sichtbar. Die ganze Lochgruppe erschien nun bei indirecter Betrachtung dem gesunden Auge deutlich heller als bei directer Fixation. Auch Frl. F. gab sofort an, dass alle Punkte viel heller und deutlicher erschienen, wenn sie neben ihnen vorbei blickte. Wenn sie den Blick abwechselnd auf einen der fünf Punkte richtete, so erschien ihr, ganz so wie uns, der jeweils fixirte Punkt merklich dunkler und undeutlicher als die anderen. Besonders auffällig war ihr bei Fixiren des mittleren Punktes das Heller- und Deutlicher-Erscheinen der vier anderen. Diese wiederholt von ihr controlirten Angaben sind ein schlagender Beweis für ihre Fähigkeit zu fixiren, wie für ihre Beobachtungsgabe.

Eine Reihe analoger Versuche wurde mit wesentlich übereinstimmendem Ergebnisse an den auf schwarzen Grund aufgelegten weissen Scheibchen angestellt, wobei die Beleuchtung der letzteren mit Hülfe eines Aubert'schen Diaphragmas entsprechend variirt werden konnte. Während die Patientin und eine unter möglichst ähnlichen Versuchsbedingungen befindliche, normale Vergleichsperson die weissen Scheibchen zunächst bei geöffnetem Fenster fixirten, wurde dies rasch fast vollständig geschlossen. Die weissen Scheibchen, die zunächst jetzt unsichtbar sind, tauchen nach einiger Adaptation als lichtschwache Pünktchen auf, wiederum ungefähr gleichzeitig für die Patientin und für den Gesunden. Die Adaptationsgeschwindigkeit ist also jedenfalls bei der total Farbenblinden nicht wesentlich

von der im normalen Auge verschieden. Auch hier ist das Hellerscheinen beim indirecten Sehen für sie sehr auffällig.

Diese Beobachtungen wurden vervollständigt durch eine Reihe von Versuchen, bei welchen schwarze Scheibchen auf dunkelgrauem Grunde in der folgenden Weise sichtbar gemacht wurden: In einem dunkelgrauen, fast schwarzen Carton sind wieder in Kreuzstellung 5 kreisrunde Löcher von 3 mm Durchmesser so ausgeschlagen, dass die Mittelpunkte der Löcher ca. 10 mm von einander abstehen. Dieser Carton wird auf ein tiefschwarzes Tuch gelegt, die Löcher erscheinen dann bei passender Beleuchtung als dunklere Stellen in dem schwarzen Carton. Die Patientin und eine normale Vergleichsperson blicken aus einem Abstande von ca. 30 cm von oben auf die Fläche.

Das Aubert'sche Fenster ist zunächst geschlossen. Nach einer Adaptation von mehreren Minuten wird das Diaphragma allmälig ganz wenig geöffnet. Ungefähr gleichzeitig mit der normalen Vergleichsperson sieht auch Frl. F. die dunklen Flecke und gibt wiederum an, dass sie ihr indirect deutlicher erscheinen, als direct.

Die angeführten Versuche zeigen, dass bei der total Farbenblinden ganz so wie bei uns, entsprechend der Stelle des directen Sehens sich ein Netzhautbezirk findet, der im dunkeladaptirten Auge für schwache Lichtreize relativ weniger erregbar ist, als die umgebenden Netzhautpartieen.

Ein vollständiges Verschwinden der einzelnen hellen Punkte konnte die Patientin bei den zu diesen Versuchen benutzten Lichtstärken nicht wahrnehmen, wenn ein allzulanges Fixiren eines einzelnen Punktes vermieden wurde. Wenn wir aber die Lichtstärke noch weiter herabminderten, so dass auch für unsere normalen Augen der jeweils fixirte Punkt unsichtbar wurde, so brachte auch die Patientin den einen oder anderen derselben für Augenblicke zum Verschwinden.

Bei einer nochmaligen Untersuchung wurden analoge Versuche erst nach einer halbstündigen Dunkeladaptation vorgenommen. Es wurden fünf von hinten beleuchtete Löcher von je 5 mm Durchmesser und 20 mm gegenseitigem Abstand in der oben beschriebenen Anordnung benutzt. Sowohl bei 20 cm als bei 45 cm und 65 cm Abstand des Auges gelang es bei passend abgeschwächter Beleuchtung der Farbenblinden leicht, das mittlere Loch gänzlich zum Verschwinden zu bringen, sobald sie die Mitte zwischen den 4 übrigen Löchern fixirte, wobei die letzteren deutlich sichtbar blieben. Diese

mit passenden Erholungspausen für das (immer wieder gänzlich verdunkelte) Auge gelangen bei natürlicher und bei künstlicher Beleuchtung der Löcher. Auch als bei 45 cm Abstand und passend abgeschwächter Beleuchtung die Lochgruppe durch ein rothes Kupferglas betrachtet wurde, verschwand das jeweilig fixirte bezw. das mittlere Loch, während die übrigen sichtbar blieben. Das rothe Glas wurde benutzt, um zu zeigen, dass nicht etwa nur die Absorption durch das Pigment der Macula lutea die Ursache der centralen Minderempfindlichkeit war; denn dieses rothe Glas lässt nur Strahlen durch, welche von jenem Pigmente nicht merklich absorbirt werden. Sobald die Farbenblinde nach einem weiter seitwärts, über oder unter der Gruppe der 5 Löcher liegenden Punkte blickte, waren auch durch das rothe Glas sofort alle 5 Löcher gleich gut sichtbar. Bei diesen wie bei den übrigen Versuchen erschien das jeweilig fixirte Loch, wenn die Beleuchtung nicht zum Verschwinden zureichend schwach war, ganz deutlich minder hell als die übrigen.

v. Kries betont mit Recht, dass der Normalsichtige bei stark herabgesetzter Beleuchtung, wenn er also vorwiegend mit den Stäbchen sehen soll, „in dem centralen Verschwinden oder einer sehr starken Verdunkelung“ kleiner lichtschwacher Objecte „geradezu ein gewisses Kriterium dafür haben wird, dass er wirklich fixirt“.

Da nun die gleiche Erscheinung offenbar in ganz analoger Weise auch bei der total Farbenblinden auftritt, so sind wir wohl berechtigt, es wahrscheinlich zu finden, dass der analogen Function eine analoge anatomische Anordnung der lichtempfindlichen Elemente entsprechen dürfte.

Die Voraussetzung von König und v. Kries, dass die Fovea ganz blind sein bezw. die Sehschärfe schon am Rande der Fovea ihr Maximum erreichen soll, findet in unseren Beobachtungen keinerlei Stütze.

Um noch weitere Aufschlüsse über das centrale Sehen der Patientin zu bekommen, wurden Versuche über die entoptische Wahrnehmbarkeit der macula lutea und über einen eventuellen Einfluss der letzteren auf spectrale Farbengleichungen angestellt.

Die Macula lässt sich der Patientin auf entoptischem Wege leicht sichtbar machen, indem dieselbe durch ein gesättigt blaues (mit Kobalt gefärbtes) Glas gegen eine gleichmässig helle Fläche sieht und die ausgespreizten Finger ihrer Hand mit mässiger Ge-

schwindigkeit vor dem Auge vorüberführt. Sie sieht dann einen quer-ovalen, nicht scharf begrenzten Fleck, der ein wenig dunkler als die Umgebung erscheint und sich bei Augenbewegungen mit bewegt, so dass er sich immer an der jeweils fixirten Stelle der Fläche befindet.

Die maculare Absorption[1]) lässt sich für das Auge der Patientin in überzeugender Weise mit Hülfe von Gleichungen zwischen zwei homogenen Lichtern durch Variiren der Grösse der sichtbar gemachten Felder nachweisen.

In dem Hering'schen Spectralapparate war dem durch das Fernrohr blickenden Beobachter zunächst ein kreisförmiges Feld sichtbar gemacht, dessen scheinbarer Durchmesser, auf eine Entfernung von 30 cm projicirt, ca. 88 mm betrug. Dieses Feld war aus zwei in einer feinen, verticalen Linie an einander grenzenden (seitlichen) Halbfeldern gebildet, von welchen jedes für sich mit homogenem Lichte beliebiger Wellenlänge erfüllt werden konnte. Durch eine an passender Stelle des Fernrohres angebrachte Irisblende konnte das kreisförmige Feld so weit verkleinert werden, dass sein scheinbarer Durchmesser, auf eine Entfernung von 30 cm projicirt, nur noch 6 mm betrug. Auch jetzt waren noch zwei gleich grosse, durch eine feine verticale Linie von einander getrennte, seitliche Halbfelder sichtbar. Es wurde zunächst die linke Hälfte mit einem homogen gelblichrothen, die rechte mit einem homogen blauen Lichte erfüllt (welche beide der Patientin völlig farblos erschienen), und es wurde dann durch Variiren der entsprechenden Collimatorspaltbreiten die Lichtstärke der beiden Halbfelder so lange verändert, bis die letzteren der den Mittelpunkt der Trennungslinie fixirenden Patientin gleich hell erschienen. Uns erschien das rothe Halbfeld leuchtend hell, das blaue tief dunkel. Wurden nun mit Hülfe der Irisblende die beiden Halbfelder so weit verkleinert, dass ihr scheinbarer Durchmesser (in 30 cm Abstand) nur noch 6 mm betrug, während die Patientin weiter den Mittelpunkt der Trennungslinie fixirte, so erschien derselben regelmässig die für uns blaue Hälfte zu dunkel. Wurde umgekehrt eine Helligkeitsgleichung zwischen beiden Halbfeldern bei kleiner Feldgrösse hergestellt und dann die Irisblende geöffnet, so sah jetzt die Patientin das für uns blaue Halb-

1) Vgl. E. Hering, Ueber den Einfluss der macula lutea auf spectrale Farbengleichungen, Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 54 S. 277.

feld deutlich zu hell. Der Versuch wurde mit ganz analogem Ergebnisse wiederholt, nachdem mit Hülfe eines an passender Stelle des Fernrohres eingeschalteten Episkotisters die Lichtstärke beider Reizlichter gleichmässig sehr beträchtlich herabgesetzt worden war. Wir finden somit bei der Patientin eine ganz analoge Beeinflussung der Gleichungen zwischen homogenen Lichtern durch die maculare Absorption, wie sie beim Normalen bekannt und von Hering genauer beschrieben ist.

Als die eine Hälfte des Kreisfeldes bei einem scheinbaren Durchmesser von 88 mm auf 300 mm Entfernung mit homogenem Orange, die andere mit homogenem Blau erleuchtet und beide für die Farbenblinde gleich gemacht worden waren, bemerkte sie auf Befragen, dass, wenn sie die Mitte der blauen Hälfte fixirte, daselbst ein dunklerer Fleck sichtbar war, und aus eigener Anregung fügte sie hinzu, dass wenn sie nach Betrachtung der rechten, für uns blauen Hälfte die Mitte der linken, für uns orangefarbenen Hälfte fixirte, daselbst zunächst ein gleichgrosser, hellerer Fleck erscheine. Diese Angaben beweisen schlagend das Vorhandensein einer Macula lutea in ihrem Auge.

Auch diese Gleichung hielt nicht Stand, wenn das Feld bis auf einen scheinbaren Durchmesser von 10 mm verkleinert wurde, sondern die für uns blaue Hälfte erschien der Farbenblinden zu dunkel. Wurde jetzt durch Intensitätssteigerung dieser Hälfte die Gleichung wieder hergestellt und dann das Feld wieder auf die frühere Grösse gebracht, so erschien jetzt die für uns blaue Hälfte ihr zu hell. Diese Versuche wurden einige Male mit dem gleichen Ergebnisse wiederholt.

Auch in Rücksicht auf die von v. Kries[1]) über die Sehschärfe der total Farbenblinden entwickelten Ansichten wurden, so weit es die Zeit erlaubte, einige Versuche mit Frl. F. angestellt, um womöglich festzustellen, ob die „Sehschärfe“ des total farbenblinden Auges in analoger Weise wie im normalen Auge vom Centrum nach der Peripherie abnimmt, und ob sich beiderlei Augen auch insofern analog verhalten, als ihre Sehschärfe sich mindert, wenn die Beleuchtung, ausgehend von ihrem Optimum, mehr und mehr herabgesetzt wird.

Die Patientin blickte monocular mit fixirtem Kopfe aus einer Entfernung von 46 cm von oben auf eine horizontale, gleichmässig

---

1) Ueber die Abhängigkeit centraler und peripherer Sehschärfe von der Lichtstärke. Centralbl. f. Physiol. Bd. 8 S. 694. 1894.

schwarze Fläche, auf welcher senkrecht unter dem beobachtenden Auge eine kleine Fixirmarke angebracht war. Es wurden nun im oberen Gesichtsfeldmeridian auf der schwarzen Fläche von oben her je zwei, an einem mattschwarzen Draht befestigte, gleich grosse, weisse, runde Scheiben, deren Durchmesser und deren gegenseitiger Abstand bei verschiedenen Versuchen wechselte, gegen die Fixirmarke vorgeschoben. Zwischendurch wurden Vexirversuche mit einfachen Scheiben angestellt.

Ein normaler Beobachter hat unter diesen Bedingungen, wenn die weissen Scheiben in der Peripherie des Gesichtsfeldes auftauchen, zunächst den Eindruck eines einzigen, hellen, unsicher begrenzten Fleckes. Werden die Scheiben weiter gegen die Fixirmarke vorgeschoben, so werden bei einer bestimmten, für Scheiben von verschiedener Grösse und verschiedenem gegenseitigen Abstande sehr verschiedenen Entfernung vom Fixirpunkte die zwei Scheiben deutlich gesondert wahrgenommen. Die Grösse und der gegenseitige Abstand zweier Scheiben, die auf einer bestimmten Netzhautstelle eben noch als zwei wahrgenommen werden, können als Grundlage für die Messung des räumlichen Unterscheidungsvermögens der entsprechenden Netzhautstelle dienen. (Genaueres hierüber siehe in Aubert's Physiologie der Netzhaut S. 247.)

Wenn wirklich die von v. Kries sogenannte „Stäbchensehschärfe“ von 10—60° Excentricität unverändert bleibt, wie dies Köster[1]), wenigstens für den horizontalen Netzhautmeridian, angibt und mit der Kries'schen Anschauung in Einklang findet, so müsste auf dem ganzen entsprechenden Gebiete die Grösse und der gegenseitige Abstand, bei welchem die Scheibchen eben als zwei wahrgenommen werden, nahezu constant sein. Dies ist aber nicht der Fall.

Aus den bei Frl. F. mit helladaptirtem Auge vorgenommenen Messungen geht hervor (s. Tabelle), dass das Unterscheidungsvermögen bei ihr vom Centrum nach der Peripherie allmälig abnimmt. Vergleichende Messungen ergaben, dass die Abnahme in ganz analoger Weise stattfindet, wie in meinem (Hess) normalen Auge. Die Unterschiede zwischen den an ihrem und an meinem Auge gefundenen Zahlen liegen innerhalb der Fehlergrenzen.

1) Physiol. Centralblatt Bd. 10 No. 15 S. 433. 1896.

Eine kleinere, mit dunkeladaptirtem Auge vorgenommene Versuchsreihe ergab, dass auch dann, bei Versuchen mit stark herabgesetzter Beleuchtung, eine analoge Abnahme des Unterscheidungsvermögens nach der Peripherie hin zu constatiren war.

Tabelle.

Prüfung mit helladaptirtem Auge.

Durchmesser der Scheiben	Abstand der einander zugekehrten Ränder der Scheiben	Die Scheiben wurden als 2 gesehen bei einer Excentricität von
mm	mm	
2	2	7,5 cm = 9° 15′
4	3	13 „ = 15° 8′
5	4	19 „ = 22° 26′
6	6	25 „ = 28° 30′
8	7	35 „ = 37° 14′
13	13	42 „ = 42° 18′

Für den engeren Netzhautbezirk bis zu 10° Excentricität wurden in einem schwach beleuchteten Zimmer Versuche mit Snellen'schen Haken gemacht, welche, auf Glas photographirt, hell auf dunklerem Grunde erschienen, wenn sie von unten her vorübergehend elektrisch beleuchtet wurden. Als Fixirpunkt diente ein scheinbar continuirlicher Inductionsfunken, welcher zwischen den Spitzen zweier Stanniolstreifen auf Glas in rhythmischer Wiederholung übersprang. Bei 24 cm Abstand vom Auge und 1° 40′ Excentricität wurde ein Haken von 2 mm Seitenlänge, der central sicher erkannt wurde, bereits nicht mehr erkannt, wohl aber ein Haken von 3 mm Seitenlänge sicher. Letzterer war dagegen bei 4° 40′ nur sehr mühsam, bei 9° 30′ aber gar nicht mehr zu erkennen. Als die Haken behufs der Ausschliessung von Augenbewegungen nur momentan beleuchtet wurden, erkannte Frl. F. den Haken von 3 mm central (s. u.) sicher, den von 2 mm jedoch nur ein Mal von sechs Mal, bei 1° 40′ den letzteren gar nicht mehr, wohl aber noch den ersteren; bei 4° 40′ aber wurde auch der Haken von 3 mm Seitenlänge nicht mehr erkannt. Sollte der Haken bei Momentanbeleuchtung central sichtbar werden, so wurden vier continuirlich scheinende Inductionsfunken erzeugt, welche die Ecke eine Quadrats bildeten; die zunächst dunkle Mitte dieses Quadrats wurde von Frl. F. fixirt und dann der Haken hier momentan sichtbar gemacht. Die Beleuchtung der Haken lag stets weit über dem Schwellenwerth.

Aus allen diesen Versuchen geht wenigstens so viel mit Sicherheit hervor, dass das räumliche Unterscheidungsvermögen der Farben-

blinden in analoger Weise vom Centrum nach der Peripherie abnimmt, wie bei uns, obwohl wir mit Stäbchen und Zapfen, die total Farbenblinden aber nur mit den Stäbchen sehen sollen.

In verschiedener Weise wurde endlich festgestellt, dass die Sehschärfe bei Frl. F. um so kleiner wurde, je weiter die Beleuchtung unter das für sie günstigste Maass herabgesetzt wurde. So vermochte sie z. B. bei Abenddämmerung und 20 cm Abstand vom Auge schon Jäger Nr. 11 nur noch langsam zu lesen und bei noch stärkerer Herabsetzung der Beleuchtung nur noch Nr. 14.

Es erschien nicht unwichtig, auch einige Beobachtungen über simultanen und successiven Contrast anzustellen.

Zur Prüfung des successiven Contrastes benutzten wir eine bekannte, zu Demonstrationszwecken vielfach gebrauchte Vorrichtung: Die Patientin fixirte aus einem Abstande von ca. 2 m den durch eine kleine Fixirmarke bezeichneten Mittelpunkt eines auf einer gleichmässig weissen Fläche angebrachten mattschwarzen Quadrates von 8 cm Seitenlänge. Nach Fixation während 15—20 Secunden wurde an Stelle der ersten plötzlich eine zweite, gleichmässig graue Fläche mit einer kleinen Fixirmarke in der Mitte sichtbar. Bei Betrachtung der letzteren gaben beide Schwestern sofort an, ein helles Quadrat auf dunklerem Grunde zu sehen.

Zum Nachweise des Simultancontrastes bedienten wir uns einer Vorrichtung, wie sie Hering in ähnlicher Form gelegentlich seiner Mittheilungen über das Purkinje'sche Phänomen beschrieben hat (Arch. f. d. ges. Physiologie, Bd. 60 S. 522).

Als Beobachtungsraum dient ein weissgetünchtes Zimmer, welches in beliebigem Grade, bezw. vollständig verfinstert werden kann. Eine mit weissem Carton überkleidete Thür führt in ein zweites Zimmer, welches sich ebenfalls beliebig, wenn auch nicht vollständig, verfinstern lässt. In Kopfhöhe eines sitzenden Menschen ist ein Loch von ca. 12 mm Durchmesser im Carton und dahinter ein etwas grösseres im Holz der Thüre angebracht. Dieses Loch wird für den in 2 m Abstand von der Thür sitzenden Beobachter durch einen im zweiten Zimmer befindlichen, verticalen, mattweissen Schirm erleuchtet, der um seine verticale Achse unter beliebigem Winkel gegen das durch ein Fenster einfallende Licht gedreht werden kann. Durch Aenderung dieses Winkels, sowie durch Variiren der Lichtöffnung kann die Helligkeit, mit welcher dem Beobachter das Loch erscheint, beliebig geändert werden.

Während der Beobachter sich in dem zunächst hellerleuchteten Raume befindet, gibt man dem Schirme eine solche Stellung, dass das Loch in der weissen Fläche dunkel, fast schwarz erscheint. Wird nun das Beobachtungszimmer rasch vollständig verfinstert, so sieht man jetzt das Loch in der (nun dunkel erscheinenden) Thürfläche als helle, fast leuchtendweisse Scheibe auf dunklem Grunde, obschon die durch das Loch zum Auge des Beobachters gelangende Lichtmenge die gleiche geblieben ist. Es wird also bei diesem Versuche lediglich durch Aenderung der Umgebung eine Fläche von constanter Lichtstärke das eine Mal tief dunkel, das andere Mal hell weiss gesehen[1]).

Für beide farbenblinde Damen ist die Erscheinung nach ihrer Beschreibung offenbar in ganz analoger Weise sichtbar wie für uns. Sie sehen das ein Mal „eine schwarze Scheibe auf hellem Grunde", das andere Mal „eine hellweisse Scheibe auf dunklem Grunde".

Die Unterschiedsempfindlichkeit untersuchten wir bei der Patientin mit Hülfe des Hering'schen Fensters in der folgenden Weise:

Eine gleichmässig weisse Fläche ist in einem Abstande von ca. 2 m vom Fensterladen vertical aufgestellt. In letzterem sind nebeneinander zwei mit mattweissen Glasplatten bedeckte Spalte in einem gegenseitigen Abstande von $^{2}/_{3}$ m angebracht. Die Grösse beider Spalte kann leicht beliebig variirt werden. Zwischen der Fläche und dem Fenster ist ein verticaler Stab so aufgestellt, dass er, wenn beide Spalten geöffnet sind, einen Schatten auf der weissen Fläche entwirft. Durch Variiren der Grösse der einen Spaltöffnung bei unveränderter zweiter kann man die Helligkeitsdifferenz zwischen dem Schatten und dem Grunde innerhalb weiter Grenzen beliebig abstufen. Bei Beginn des Versuches ist nur der eine Spalt geöffnet, und die Fläche erscheint gleichmässig hell. Wird nun der zweite Spalt ganz wenig geöffnet, so tritt eine sehr geringe Helligkeitsdifferenz zwischen den beschatteten und den nicht beschatteten Stellen der Fläche auf. Es ist also der Schatten des Stabes zunächst nur äusserst schwach sichtbar; er wird dunkler und deutlicher in dem Maasse, als die zweite Spaltöffnung vergrössert wird. Es ergab sich bei unseren Beobachtungen, dass bei allmäligem Oeffnen des zweiten Spaltes der Schatten für die Patientin und für

1) Von der Aenderung der Pupillenweite kann hier abgesehen werden

eine normale Vergleichsperson angenähert gleichzeitig sichtbar ward. Bei mässig heller Beleuchtung kann also ihre Unterschiedsempfindlichkeit nicht nennenswerth von der normalen verschieden sein. Der Versuch wurde wiederholt, nachdem die Beleuchtung rasch durch Verkleinerung des ersten Fensters auf ein Mindestmaass herabgesetzt worden war, so dass die weisse Fläche dunkelgrau erschien. Die Unterschiedsempfindlichkeit war auch jetzt bei der Patientin sofort mindestens eben so gross wie bei mir (Hess). Diese Beobachtungen entsprechen vollständig den Ergebnissen, welche früher Herr Geh. Rath v. Hippel bei der Patientin mit Hülfe rotirender Scheiben gewonnen hatte.

Endlich stellten wir bei der Patientin noch einige Beobachtungen über die Nachbilder bewegter, leuchtender Punkte an. Dies geschah wesentlich im Hinblick auf die Angabe von v. Kries, dass eine von ihm untersuchte total Farbenblinde „die nachlaufenden Bilder nicht wahrnehmen konnte". v. Kries bemerkt dazu: „Die recht gute Beobachtungsfähigkeit des Mädchens macht es unwahrscheinlich, dass sie es lediglich übersehen haben sollte". v. Kries führt diese Thatsache zu Gunsten einer der von ihm erörterten Hypothesen über die Betheiligung der Zapfen und Stäbchen am Zustandekommen des sogenannten Purkinje'schen Nachbildes an. Es erschien daher angezeigt, auch bei unserer Patientin entsprechende Versuche vorzunehmen. Dies geschah in der Weise, dass im Dunkelzimmer, nach einer Adaptation von wenigen Minuten, ein schwach leuchtendes Glühlämpchen in einem Abstande von ca. $^1/_2$ m vor dem Auge der Patientin rasch vorübergeführt wurde. Durch Oeffnen und Schliessen eines geeigneten Contactes war Sorge getragen, dass nur während der Bewegung selbst das Lämpchen erglühte, so dass also vor Beginn und nach Schluss derselben die Patientin sich im völlig dunklen Raume befand.

Es zeigte sich sofort bei den ersten Versuchen, dass die Patientin das Nachbild, entsprechend der vom Lichte durchmessenen Bahn, in Form eines leuchtenden Schweifes sah, der (bei öfter wiederholten Versuchen) für sie angenähert ebenso lange bestehen blieb, wie für ein normales Auge unter gleichen Bedingungen.

Das Fehlen der Erscheinung bei der v. Kries'schen Patientin dürfte danach, wenn es nicht auf ungenügende Beobachtungsfähigkeit bezogen werden kann, durch einen anderweitigen Defect an ihrem

Auge zu erklären sein. Ueber das Sehvermögen der Patientin fehlen bei v. Kries alle Angaben. Jedenfalls liegt es in der Natur der Sache, dass dem von uns erhobenen positiven Befunde mehr Gewicht beizulegen ist, als dem v. Kries'schen negativen.

Die Ergebnisse der vorstehend mitgetheilten Beobachtungen an unserer Patientin können wir kurz in den folgenden Sätzen zusammenfassen:

1. Die total Farbenblinde Frl. F. vermag feine Objecte ohne Nystagmus zu fixiren.

2. Ihr Fixirpunkt hat die gleiche Lage zur Eintrittsstelle des Sehnerven wie im normalen Auge. Ein centraler blinder Fleck lässt sich nicht nachweisen.

3. Bei der Patientin findet sich ganz so, wie beim Normalen, ein centraler Netzhautbezirk, der im gut für Dunkel adaptirten Auge für schwache Lichtreize relativ weniger erregbar ist als die umgebenden Netzhautpartieen.

4. Die Macula lutea kann der Patientin auf entoptischem Wege sichtbar gemacht werden; sie macht ihren Einfluss auf Farbengleichungen zwischen homogenen Lichtern in analoger Weise geltend wie im normalen Auge.

5. Das räumliche Unterscheidungsvermögen nimmt bei der Patientin vom Mittelpunkte nach der Netzhautperipherie allmälig ab, in analoger Weise, wie es beim normalen Auge der Fall ist.

6. Rasch bewegte leuchtende Punkte rufen bei der Patientin im Wesentlichen ganz analoge Nachbilderscheinungen hervor wie beim Normalen.

7. Unterschiedsempfindlichkeit, simultaner und successiver Contrast verhalten sich im Auge der total Farbenblinden nicht wesentlich anders als im normalen Auge.

8. Die Hypothese von König und v. Kries, nach welcher sich der total Farbenblinde vom Normalen durch Fehlen, bezw. Functionsunfähigkeit der Zapfen unterscheiden soll, findet in unseren Beobachtungen keine Stütze.

Ueber die elektrischen Eigenschaften der Nerven.

Von

Dr. **J. L. Hoorweg** [1].

(Mit 10 Textfiguren.)

1. Wenn wir von allen theoretischen Betrachtungen absehen, so sind an den Nerven die folgenden elektrischen Eigenschaften entdeckt:

a) der Ruhestrom bei künstlichem Querschnitt;
b) der positive und negative Zuwachs derselben bei Anwendung constanter Ströme;
c) die negative Schwankung derselben bei Anwendung einer Reihe Inductionsströme von abwechselnder Richtung (sogenannter faradischer Ströme, erzeugt von Inductionsapparaten mit spielendem Hammer);
d) die Verstärkung oder Schwächung der negativen Schwankung bei gleichzeitiger Wirkung constanter und faradischer Ströme.
e) die sogenannten elektrotonischen Ströme, welche bei der Anwendung constanter Ströme in entfernten Stellen von Nerven abgeleitet werden können;
f) die Schwankung, welche diese elektrotonischen Ströme durch faradische Ströme erleiden;
g) die von einem einzelnen Inductionsschlag erweckte elektrische Bewegung, welche wie eine Welle mit bestimmter Geschwindigkeit von den reizenden Elektroden hinweg, den ganzen Nerven durcheilt;

---

1) Ich bedaure sehr, durch einen unglücklichen Zufall erst jetzt die sehr interessanten Abhandlungen Boruttau's in Pflüger's Archiv Bd. 63 gelesen zu haben. Hierin kommen so viele wichtige Resultate und Bemerkungen vor, dass viel, was ich hier geschrieben habe, dadurch überflüssig wird. Dass ich dennoch diese Abhandlung publicire, ist, weil sie hie und da die Boruttau'sche Arbeit ergänzt und eine festere Grundlage gibt (Dec. 1897).

h) mechanische Erschütterung, chemische Reizung u. s. w. des einen Nervenendes erzeugt am anderen Ende die gleichen elektrischen Wirkungen als die Einwirkung faradischer Ströme.

Man kennt auch die verschiedenen Umstände, welche die Richtung und Stärke dieser elektrischen Erscheinungen beeinflussen.

Stets ist der künstliche Querschnitt negativ zum Längsschnitt. Auch bei Ablenkung von zwei Längsschnittpunkten entsteht ein schwacher Ruhestrom, dessen Richtung von der Lage dieser Punkte zum Aequator bedingt wird. Bei symmetrischer Lage dieser Punkte ist der Ruhestrom Null.

Der positive und negative Zuwachs, welchen der Ruhestrom durch Anwendung eines constanten Stromes erleidet, ist ganz von der Stärke dieses polarisirenden Stromes und von der Entfernung der polarisirenden Elektroden abhängig. Dieser Zuwachs tritt als selbstständiger Strom auf, wenn man von zwei symmetrischen Längsschnittpunkten ableitet. Diese selbstständigen Ströme sind dieselben wie die elektrotonischen sub e genannten Ströme. Die Richtung derselben ist derartig, dass die proximale abgeleitete Elektrode an der Anodenseite des polarisirenden Stromes positiv, an der Kathodenseite negativ ist. Sie sind meistens an der Anodenseite stärker als an der Kathodenseite und treten schon bei sehr kurz dauernden Strömen auf.

Die negative Schwankung des Ruhestroms durch faradische Ströme nimmt mit der Stärke des Ruhestroms zu, wird Null, wenn der Ruhestrom verschwindet, und bekommt die entgegengesetzte Richtung, wenn der Ruhestrom sich umkehrt. Die negative Schwankung ist unabhängig von der Wippenstellung am Inductionsapparat und vom Abstande der Reizstelle. Sie bleibt fortbestehen, auch wenn der Verlauf der abwechselnden Inductionsströme nach der Helmholtz'schen Anordnung ausgeglichen ist, und tritt mit so schwachen Inductionsströmen auf, dass dabei keine elektrotonischen Ströme merklich waren. Bei querer Anordnung der faradischen Ströme bleibt die negative Schwankung aus. Sie wird verstärkt, wenn die Reizstelle sich an der Kathodenseite, und geschwächt, wenn dieselbe sich an der Anodenseite eines polarisirenden Stromes befindet.

Auch die von constanten Strömen in entfernten Nervenstrecken erweckten elektrotonischen Ströme erleiden eine negative Schwankung

durch faradische Ströme völlig auf dieselbe Weise, wie der Ruhestrom selbst. Einzelne Inductionsströme veranlassen eine im Nerven mit bestimmter Geschwindigkeit fortlaufende elektrische Welle, welche erst die der Reizstelle nähere, später die entferntere Ableitungsstelle negativ gegen die andere macht und also einen kurzdauernden, doppelsinnigen Strom veranlasst, welcher mit dem Rheotome beobachtet werden kann.

2. Alle diese elektrischen Erscheinungen finden nach Hermann ihre Erklärung durch die Annahme von nur wenigen Hypothesen:

α) Der Nerv verhält sich wie ein Kernleiter.

β) Im Absterben begriffene Nervenstrecken sind negativ zu den unversehrten.

γ) Erregte Nervenstrecken sind negativ zu den unerregten oder den weniger erregten.

δ) die Erregung und somit die Negativität nimmt zu, wenn sie zu stärker anelektrotonischen oder schwächer katelektrotonischen Nervenstellen fortschreitet, und nimmt ab im entgegengesetzten Falle.

Kernleiter sind die von Matteucci entdeckten und von Hermann an eingehenden Versuchen unterworfenen feuchten Leiter mit metallenem oder besser leitendem Kerndraht, welche die Eigenschaft besitzen, durch elektrische Polarisation einen Theil eines in einem Nerventheile applicirten Stromes nach weit entfernten Theilen fortzuleiten.

Wenn man annimmt, die Nerven seien Kernleiter, so sind sogleich alle sub b und e genannten Erscheinungen erklärt.

Die zweite Hypothese macht das Auftreten des Ruhestromes zwischen Querschnitt und Längsschnitt verständlich, und weil der Nerv als Kernleiter auch einen Theil des Ruhestromes nach weit entfernten Theilen fortpflanzt, so ist es auch begreiflich, wie die von unsymmetrischen Längsschnitten abgeleiteten Ruheströme entstehen (Hermann, Handbuch Bd. 2 S. 180).

Weiter nimmt Hermann mit allen Physiologen an, dass bei Reizung eines Nerven eine gewisse unbekannte Zustandsänderung an der Reizstelle eintritt, welche man die Erregung nennt, und welche sich mit gewisser Geschwindigkeit den Nerven entlang fortpflanzt, bis sie am Muskel anlangt und die Zuckung auslöst. Nach der dritten Hermann'schen Hypothese ist aber diese Fortpflanzung der Er-

regung mit dem Auftreten einer negativen elektrischen Welle verbunden, welche die sub g genannten Erscheinungen erklärt.

Die sub c, d, f und h genannten Erscheinungen finden ihre Erklärung in der vierten Hypothese Hermann's, d. h. im Satze des polarisatorischen Incrementes der Erregung.

Der Ruhestrom z. B. bringt die dem künstlichen Querschnitt nächst liegenden Nerventheile in starken und bleibenden Katelektrotonus. Desshalb kommt die negative Welle am künstlichen Querschnitt in sehr verringerter Stärke an und erleidet der Ruhestrom vom Längsschnittpunkte aus eine bleibende negative Schwankung.

Auf dieselbe Weise erklären sich auch die sub d, f und h genannten elektrischen Eigenschaften der Nerven direct aus dem Principe der polarisatorischen Incremente der Erregung. Die vier Hypothesen Hermann's bilden ein schön zusammengefügtes Gebäude, in welchem alle Erscheinungen vollkommen zu passen scheinen.

Ich will aber im Folgenden zeigen, dass die beiden ersten Hypothesen schon vollkommen ausreichen für die Erklärung aller Erscheinungen, dass also die zwei letzteren ganz überflüssig und also von einem wissenschaftlichen Standpunkt aus zu verwerfen sind.

3. Die Untersuchung habe ich hiermit angefangen, dass ich mit aller denkbaren Fürsorge die in § 1 genannten Erscheinungen der Nerven beobachtete, damit ich die Sicherheit bekäme, Alles sei wirklich so, wie es in den Handbüchern beschrieben ist. Ich wendete dazu einen neuen Spiegelgalvanometer nach Thomson an, dessen astatisches System aus zwei äusserst leichten Magnetbündeln besteht, welche beide aber in entgegengesetzter Richtung vom Strome umkreist werden. (Four coil Thomson's Galvanometer.)

Die Ablenkungen dieses Galvanometers wurden mit Fernrohr und Scala aus einer Entfernung von 3 m abgelesen. Es war dann leicht, mit den Hülfsmagneten eine so grosse Empfindlichkeit zu erreichen, dass 1 mm der Scala eine Stromstärke von 10^{-10} Ampère andeutete. Für weniger genaue Versuche wendete ich daneben einen alten Wiedemann'schen Galvanometer an, der für Projection eingerichtet war und bei einer Ablenkung von 1 cm eine Stromstärke von 10^{-6} Ampère anzeigte.

Die Nerven wurden mit grosser Vorsicht auspräparirt und direct für den Versuch angewendet. Die silbernen Elektroden waren nach d'Arsonval mit einer Hülle von Chlorsilber bedeckt.

Auch für die Isolirung der Nerven und der Elektroden war auf's Peinlichste Sorge getragen.

Der Inductionsapparat wirkte ohne Eisenkern und mit ausgeschobener Rolle; der constante Strom wurde mittelst Rheochord von einem Daniell Elemente abgeleitet. Auch die Compensation des Ruhestroms, wo nöthig, wurde auf die bekannte Weise mit einem Rheochord zu Stande gebracht. Auf diese Weise war es leicht, alle oben gemachten Angaben zu controliren: ich beobachtete das Auftreten des Ruhestroms, das Verschwinden desselben bei symmetrischer Lage der Elektroden, den positiven und negativen Zuwachs und die negative Schwankung, kurz alle oben genannten elektrischen Erscheinungen.

Nur in drei Punkten weichen meine Resultate von den oben genannten ab:

1) kann ich nur constatiren, was schon Du Bois-Reymond (Untersuchungen Bd. 2 S. 463) gefunden hat, dass die Grösse der negativen Schwankung nicht unabhängig vom Abstande der Reizstelle ist: man kann selbst durch Vergrösserung der Abstände die Schwankung auf die Hälfte des früheren Werthes zurückbringen;

2) finde ich nicht immer die elektrotonischen Ströme, die ein constanter Strom in benachbarten Nervenstrecken erweckt, durch die gleichzeitige Wirkung faradischer Ströme geschwächt. Bei einer gewissen relativen Stärke des polarisirenden und des faradischen Stromes wird der eine elektrotonische Strom geschwächt, der andre aber gestärkt;

3) finde ich mit dem neuen Galvanometer auch bei symmetrischer Lage der Elektroden eine kleine Ablenkung durch faradische Ströme. Diese Ablenkung ist stets dieselbe, welche Richtung auch der primäre Strom des Inductionsapparates besitze: immer ist die proximale Elektrode negativ zur entfernteren. Diese Wirkung ist also nicht derselben Natur, als die von Hermann (Pflüger's Archiv Bd. 18 S. 581) an Kaninchennerven gefundenen elektrotonischen Wirkungen. Weiter kann ich die Angabe Hermann's (Handbuch Bd. 1 S. 161) bestätigen, dass auch einzelne Inductionsschläge von Elektrotonus begleitet sind. Am Galvanometer der abgeleiteten Nervenstrecke entsteht bei der Schliessung des primären Stromes ein Ausschlag, welcher auffallend schnell wieder auf Null zurückfliegt. Bei der Oeffnung beobachtet man eine dergleiche blitzschnelle Bewegung des Galvanometerspiegels nach der anderen Seite. Mit meinem sehr leichten

Spiegel sehe ich ohne Rheotom den doppelsinnigen Actionsstrom Hermann's unter den ableitenden Elektroden hinweggehen.

Folgende Versuche dienen, das Gesagte zu erläutern.

I. Nerv von mehr als 5 cm Länge: hierauf 6 Chlorsilberelektroden, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*. *a b* mit Inductionsapparat ohne Eisenkern, *e f* mit constantem Strome von 0,7 bis 5 MA., *c d* mit neuem Galvanometer. Nullpunkt der Scala 160. Nach Anlegung der Elektroden 165, also kein merklicher Ruhestrom.

Wirkung des constanten Stromes. 1. Richtung. Ablenkung . . + 200
„ „ „ „ 2. „ „ . . . — 180
Schliessungsinductionsschlag, Ausschlag . . . . + 50
Oeffnungsinductionsschlag, „ . . . . — 60
Induction bei spielendem Hammer:
(Faradischer Strom). 1. Wippestellung. Ablenkung. . . . . . . — 15
2. „ „ . . . . — 10
Faradischer Strom + constanter Strom. 1. Richtung. Ablenkung + 140
2. „ „ . — 130

Weiter bei jeder Wiederholung des Versuches immer Schwächung der elektrotonischen Ströme des constanten Stromes durch die Wirkung des faradischen Stromes bei jeder Stellung der Wippe des primären Stromes des Inductionsapparates, genau wie Bernstein gefunden hat (Arch. f. Anat. und Phys. S. 618, 1866).

II. Derselbe Nerv, aber *e f* mit Galvanometer, *c d* mit Inductionsapparat, *a b* mit constantem Strome. Kein Ruhestrom.

Wirkung des constanten Stromes. 1. Richtung. Ablenkung . . + 100
2. „ „ . . — 90
Faradischer Strom bei jeder Wippelage. Ablenkung . . . . — 10
Faradischer Strom + constanter Strom. 1. Richtung. Ablenkung + 60
2. „ „ — 105

Hier verstärkt also im zweiten Fall der faradische Strom den Einfluss des constanten Stromes.

Bei Wiederholung des Versuches stets Schwächung in der einen Richtung und Verstärkung in der andern Richtung.

III. Derselbe Nerv, aber *a b* mit Inductionsapparat, *c d* mit constantem Strome, *e f* mit Galvanometer. Kein Ruhestrom.

Wirkung des constanten Stromes. 1. Richtung. Ablenkung . . + 180
2. „ „ . . — 160
Faradischer Strom bei jeder Lage der Wippe. Ablenkung . . — 5
Faradischer Strom + constanter Strom. 1. Richtung. Ablenkung + 170
2. „ „ . — 163

Hier also wieder dasselbe Resultat als im Versuche II, aber wegen der grossen Entfernung der Inductionselektroden geringere Ablenkung durch faradische Ströme für sich allein. Die Wirkung des constanten Stromes dagegen war stärker.

IV. Anderer Nerv. Verbindung wie im Versuche III.

Wirkung des constanten Stromes.						1. Richtung.		Ablenkung . .		+ 120
						2.	„	„ . .		— 110
Faradischer Strom.		1. Wippestellung.				Ablenkung		. . . . .		— 5
		2.	„			„		. . . . .		+ 2
Farad. Strom.		1. Wippestellung		+ const. Strom.		1. Richtung.		Abl.		+ 90
„	„	2.	„	+	„ „	1.	„	„		+ 130
„	„	1.	„	+	„ „	2.	„	„		— 120
„	„	2.	„	+	„ „	2.	„	„		— 104

Hier wirkt der faradische Strom genau wie bei den Kaninchennerven Hermann's (l. c.).

Jetzt wird versucht, den Contact der Nerven mit den Elektroden zu verbessern. Die Folge ist, dass jetzt der faradische Strom wieder nur negative Ablenkungen gibt. Auch schwächt er jetzt immer die vom constanten Strome hervorgerufene elektrotonische Wirkung, genau wie im Versuche I, obgleich die Combination der Elektroden war wie im Versuche III.

V. Anderer Nerv, *a b* mit Inductionsapparat, *c d* mit constantem Strome, *e f* mit Galvanometer. Kein Ruhestrom. Jetzt war bei Wiederholung dasselbe Resultat des Versuches I: stets negative Schwankung der elektrotonischen Ströme durch die Einwirkung des faradischen Stromes.

VI. Anderer Nerv. Combination der Elektroden wie im Versuche I. Kein Ruhestrom. Ausgezeichneter Contact der Nerven nach den Elektroden. Starke Ablenkungen. Faradische Ströme stets negative Ablenkungen.

Hier wirken wieder, wie im Versuche II, die faradischen Ströme bald schwächend, bald verstärkend auf die vom constanten Strome erzeugten elektrotonischen Ströme, je nach der Richtung der letzteren.

Aus allen diesen Versuchen, welche ich mit vielen vermehren könnte, geht hervor, dass auch bei den sehr schwachen Reizströmen, welche ich anwendete, manchmal die Wirkung der faradischen Ströme nicht mit dem Satze vom polarisatorischen Increment übereinstimmte.

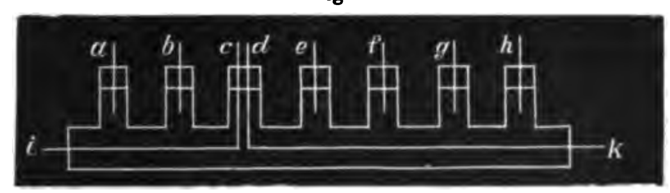
Die ganze Sache gab mir nicht im Mindesten den Eindruck, dass die Wirkung der faradischen Ströme ganz anderer Natur als die des constanten Stromes war. Mir schienen beide Wirkungen identisch. Nur war es auffallend, dass die Wirkung des faradischen Stromes für sich allein immer kleiner war als bei der gleichzeitigen Wirkung des constanten Stromes, und dass die Zusammenwirkung beider Ströme nicht immer die algebraische Summe der gesonderten Wirkungen war.

4. Durch obige Versuche wurde ich erregt, nochmals genaue Versuche an Kernleitern anzustellen, um zu sehen, ob dieselben Erscheinungen auch dort zu beobachten waren.

In dieser Richtung sind schon von Hermann und später von Boruttau viele merkwürdige Versuche angestellt.

Insbesondere die an Kernleitern angestellten Rheotomversuche Boruttau's (Pflüger's Archiv Bd. 58 und 59) haben auf staunende Weise die Identität der elektrischen Wellenbewegung in Kernleitern mit der am Nerven beobachteten dargethan. Die negative Welle, welche sich nach der Meinung fast aller Physiologen zu der Erregungswelle gesellt und nur in dieser ihren Ursprung hat, kommt daher auch zu Stande in Fällen, wo von keiner Erregungswelle überhaupt die Rede sein kann, d. h. in Kernleitern, die ganz aus unorganischen Stoffen zusammengestellt sind. Dieselbe Kernleiter-Eigenschaft, welche das Auftreten der elektrotonischen Ströme verursacht, genügt auch zur Erklärung der phasischen Actionsströme Hermann's und selbst zur Erläuterung aller mit dem Rheotome an Nerven beobachteten elektrischen Erscheinungen.

Fig. 1.



In dieser Hinsicht sind die Versuche Boruttau's entscheidend.

Für weitere Untersuchungen liess ich mir einen gläsernen Kernleiter, Fig. 1, anfertigen, mit 7 Seitenröhren, *a*, *b*, *cd*, *e*, *f*, *g*, *h*. Der Platinkerndraht *i k* war wie bei meinen früheren Versuchen (Pflüger's Archiv Bd. 53 S. 596) bei *cd* durchbrochen und die beiden Enden *c* und *d* direct oder mittelst eines Galvanometers verbunden.

Die Flüssigkeit war eine 0,6 % Kochsalzlösung oder eine gesättigte Zinksulfatlösung. Im ersten Falle bestanden die Elektroden *a*, *b*, *e*, *f*, *g* und *h* aus Platin, im zweiten Falle aus amalgamirten Zinkdrähten.

Hier waren also wieder 6 Elektroden, wie bei den Nervenversuchen.

Ich verband jetzt die Zinkelektrode *h* des zweiten Kernleiters mittelst des alten Galvanometers *G* mit dem Ende *k* des Platinkerndrahtes *ik*. Natürlicherweise entstand eine starke Ablenkung. Wir können diesen Strom den Ruhestrom des Kernleiters nennen. Durch

Compensation mit Rheochord *R* und Daniell-Elemente *D* brachte ich das Lichtbild wieder auf den Nullpunkt der Scala zurück.

Darauf verband ich die Elektroden *ef* mit dem Rheochord R', dem Daniell'schen Elemente *D'* und dem Commentator *C'*. Bei der Schliessung dieser Kette erleidete der Ruhestrom in *G* einen positiven oder negativen Zuwachs, je nach der Wippelage in *C'*, um so stärker, je stärker der constante Strom selbst war.

Nun wurde die Elektrode *ab* mit der secundären Rolle eines Inductoriums verbunden, in dessen primäre Rolle noch eine Wippe *C"* eingeschaltet war.

Wenn man den Inductionsapparat mit spielendem Hammer wirken liess, so erlitt der Ruhestrom in *G* eine negative Schwankung von 3 cm, und zwar bei jeder Lage der Wippe *C"*.

Jetzt wurde erst der constante Strom in *C'* geschlossen, der geänderte Ruhestrom mit dem Rheochord *R* wieder compensirt und dann der Inductionskreis in *C"* geschlossen. Der geänderte Ruhestrom erlitt eine negative Schwankung von 6 cm in beiden Lagen der Wippe *C"*.

Darauf wurde dem constanten Strome durch *C'* eine andere Richtung gegeben, der wieder geänderte Ruhestrom auf's Neue compensirt und dann wieder der Inductionskreis in *C"* geschlossen. Auch jetzt beobachtete man eine negative Schwankung im Galvanometerkreise *G* bei beiden Lagen der Wippe *C"*. Letztere negative Schwankung war aber kleiner als erstere, nur 1 cm. Die kleinere Schwankung traf ein, wenn *f* die Anode des constanten Stromes bildete.

Hier haben wir vollkommen auf dieselbe Weise experimentirt wie Bernstein (l. c. S. 605) und auch genau dieselben Resultate bekommen. Der einzige Unterschied in beiden Versuchen ist, dass Bernstein mit lebendigen Froschnerven, ich aber mit einem gläsernen Kernleiter arbeitete.

Was diese Versuche noch interessanter macht, ist, dass bei mir der Ruhestrom gerade die entgegengesetzte Richtung hat wie bei den Nerven. Das Platinende *k* war doch natürlicherweise positiv zur Zinkelektrode *h*, und der Ruhestrom strömte im Galvanometer vom Querschnitt zum Längsschnitt.

Jetzt verband ich *ef* mit dem Spiegelgalvanometer, *ab* mit dem constanten Strom und *gh* mit der Inductionsrolle. Kein Ruhestrom war da: ganz natürlich, weil *e* und *f* beide Zinkelektroden waren.

Der constante Strom verursachte elektrotonische Ströme im Galvanometerkreise, 2—3 cm. Die proximale Elektrode *e* war positiv, falls *b* die Anode bildete, und negativ, wenn *b* die Kathode des constanten Stromes war.

Die Inductionsrolle für sich gab eine kleine Ablenkung von 1/4 cm, immer nach derselben Seite. Hier war die proximale Elektrode *f* in jeder Wippelage von *C″* immer negativ.

Bei gleichzeitiger Wirkung der beiden Ströme erlitten die vom constanten Strom herrührenden elektrotonischen Ströme stets eine negative Schwankung durch die faradischen Ströme, welche Schwankung für die eine Richtung des constanten Stromes meist kleiner war als für die andere Richtung. Alle diese Erscheinungen sind vollkommen identisch mit denen, welche an Nerven beobachtet worden sind.

Jetzt wurde der constante Strom und der faradische Strom beide verstärkt. Bei derselben Vorrichtung wie oben erhielt ich jetzt elektrotonische Ströme, welche in der einen Richtung vom faradischen Strome geschwächt, in der andern Richtung aber verstärkt werden, genau wie ich im Versuche II an Nerven beobachtete.

Dasselbe Resultat wird erreicht, wenn *ab* mit Galvanometer, *ef* mit Inductionsapparat, *gh* mit constantem Strome, oder auch wenn *ef* mit constantem, *gh* mit faradischem Strome verbunden ist.

Bei gewisser Intensität beider Ströme stets negative Schwankung der elektrotonischen Ströme, bei anderem Verhältniss beider Ströme immer Schwächung in der einen Richtung, Verstärkung in der andern Richtung.

Folgende Versuche bestätigen dies.

VII. Versuch mit gläsernem Kernleiter mit Platinkerndraht, Platinelektroden und Kochsalzlösung. *cd* fest verbunden, *gh* mit constantem Strome, *ef* mit Inductionsrolle, *ab* mit Galvanometer, von *b* bis *g* 18 cm. Constanter Strom von 0,5 bis 5 MA. Inductionsrolle ohne Eisenkern.

Constanter Strom allein. 1. Richtung. Ablenkung	+ 15
2. „ „	— 14
Schliessungsinductionsstrom. Ausschlag	+ 9
Oeffnungsinductionsstrom. „	— 10
Faradischer Strom. 1. Wippelage. Ablenkung	— 1
2. „ „	— 1 1/2
Faradischer Strom + constanter Strom. 1. Richtung. Ablenkung	+ 7
„ „ + „ „ 2. „ „	— 12

Der faradische Strom schwächt also immer die elektrotonischen Ströme des constanten Stromes, und zwar in der einen Richtung des letzteren stärker als in der andern, gerade wie Bernstein es an Nerven fand. Siehe meine Nervenversuche I, IV und V. Auch hier ist die Wirkung des faradischen Stromes für sich kleiner als bei der Mitwirkung des constanten Stromes. Ebenso modificirt der constante Strom die Richtung der vom faradischen Strom erzeugten Ablenkungen, genau wie ich bei den Nervenversuchen die Gelegenheit hatte zu bemerken.

VIII. Kernleiter wie oben, aber *e f* mit Galvanometer, *g h* mit Inductoren, *a b* mit constantem Strom.

Constanter Strom. 1. Richtung. Ablenkung	+ 30
2. „ „	— 29
Faradischer Strom in beiden Wippenlagen. Ablenkung	— 2
Faradischer Strom + constanter Strom. 1. Richtung. Ablenkung	+ 22
„ „ + „ „ 2. „ „	— 26

Auch hier wieder die negative Schwankung der elektrotonischen Ströme für beide Richtungen des constanten Stromes.

IX. Kernleiter wie oben, *a b* mit constantem Strom, *g h* mit Inductorium aber jetzt die beiden Enden *c*, *d* des Kerndrahtes nicht direct, sondern mittelst eines weniger empfindlichen Galvanometers verbunden. Die Ablenkungen dieses Galvanometers werden beobachtet.

Constanter Strom. 1. Richtung. Ablenkung	— 42
2. „ „	+ 40
Faradischer Strom bei beiden Wippenlagen. Ablenkung	— 10
Faradischer Strom + constanter Strom. 1. Richtung. Ablenkung	— 35
2. „ „	+ 30

Auch hier wieder die negative Schwankung der vom constanten Strom erzeugten elektrotonischen Ströme beider Richtung, obgleich die Beobachtung jetzt am Kerndraht selbst stattfand und die elektrotonischen Ströme hier von entgegengesetzter Richtung sind, wie gewöhnlich.

X. Kernleiter mit gesättigter Zinksulfatlösung und Zinkelektroden, *c* und *d* direct verbunden, *a b* mit Galvanometer, *e f* mit constantem Strom, *g h* mit Inductionsrolle, von *b* bis *g* 19 cm.

Constanter Strom. 1. Richtung. Ablenkung	+ 20
2. „ „	— 19
Faradischer Strom in beiden Wippelagen. Ablenkung	— 1
Faradischer Strom + constanter Strom. 1. Richtung. Ablenkung	+ 14
„ „ „ „ 2. „ „	— 17

Auch hier wieder das gleiche Resultat.

XI. Kernleiter wie oben: *g h* mit constantem Strom, *e f* mit Inductionsrolle, *a b* mit Galvanometer.

Constanter Strom. 1. Richtung. Ablenkung	+ 16
2. „ „	— 15
Faradischer Strom in beiden Wippelagen	— 1¾

Faradischer Strom + constanter Strom. 1. Richtung. Ablenkung + 14
2. „ „ — 16

Hier ist wie bei meinen Nervenversuchen II und III der positive elektrotonische Strom immer geschwächt, der negative immer verstärkt.

XII. Kernleiter wie oben, aber jetzt wieder die Enden *cd* des Kerndrahtes mit weniger empfindlichem Galvanometer, *ab* mit constantem, *gh* mit faradischem Strome verbunden.

Constanter Strom. 1. Richtung. Ablenkung . . . . — 60
2. „ „ . . . . + 58
Faradischer Strom. 1. Wippelage. Ablenkung . . . . — 12
2. „ „ . . . . — 11
Faradischer Strom + constanter Strom. 1. Richtung. Ablenkung — 50
2. „ „ + 62

Hier ist wieder der am Kerndrahte selbst auftretende elektrotonische Strom von entgegengesetzter Richtung wie gewöhnlich. Dieser Strom wird jetzt aber in die eine Richtung vom faradischen Strome geschwächt, in die andere gestärkt.

Bei anderen Intensitäten beider Ströme wird aber wieder stets das Resultat des Versuches IX erhalten.

XIII. Kernleiter aus mit Baumwolle umwickeltem Platindraht. Die Baumwolle ist mit 0,6 % Kochsalzlösung gut durchfeuchtet. Länge des Platindrahtes etwa 5 cm. Wie bei den Nervenversuchen werden an diesem Kernleiter 6 Chlorsilberelektroden angelegt, von welchen 2 mit dem Galvanometer, 2 mit dem constanten Strom und 2 mit der Inductionsrolle verbunden waren.

Constanter Strom. 1. Richtung. Ablenkung . . . . + 11
2. „ „ . . . . — 10
Faradischer Strom bei beiden Wippelagen. Ablenkung . . . . — 3
Faradischer Strom + constanter Strom. 1. Richtung. Ablenkung + 5
2. „ „ — 8

Hier wieder das bekannte Resultat des Versuches I.

Bei diesen Versuchen war, wie in allen obigen, der Eisenkern des Inductoriums entfernt.

Bei Einschiebung des Eisenkernes waren die Ablenkungen:

Faradischer Strom. 1. Wippelage. Ablenkung . . . . — 7
2. „ „ . . . . + 4

und weiter vollkommen dasselbe Resultat wie in Versuch IV.

Mit dem Zinksulfat-Kernleiter noch folgender Versuch.

XIV. *h* mit *k* mittelst Stromschlüssel verbunden, *ab* mit Galvanometer. Bei jeder Schliessung des Schlüssels in *hk* entsteht eine bleibende Ablenkung vom Galvanometer, welche zeigte, dass *b* positiv zu *a* geworden ist.

Werden *hk* bleibend verbunden und im Kreise *ab* nebst dem Galvanometer ein Stromschlüssel eingeschaltet, so lenkt der Galvanometerspiegel ab bei jedem Stromschluss.

Wir haben hier den Ruhestrom der Nerven für zwei Längsschnittpunkte nachgeahmt. Weil aber Platin sich zu Zink positiv verhält, so sind diese Ströme hier von entgegengesetzter Richtung wie bei den Nerven.

Bringen wir statt *h* mit *k* *a* mit *i* in bleibende Verbindung, so gehen jetzt vom Ende *i* des Kerndrahtes die entgegengesetzten Wirkungen aus, wie der Galvanometer in *a b* anzeigt.

Verbinden wir beide Enden des Kerndrahtes, also sowohl *a* mit *i* als *h* mit *k*, so findet man an jeder Stelle des Kernleiters die Differenz beider elektrotonischer Wirkungen und bei Ablenkung von zwei symmetrischen Punkten, z. B. von *ef* ist der abgeleitete Strom Null: der Ruhestrom verschwindet.

Die Nerven mit künstlichen Querschnitten verhalten sich also wie ein Kernleiter, dessen Kerndraht an beiden Enden durch ungleichartige Elektroden mit der Flüssigkeit in Verbindung steht.

Dieselben Versuche mit dem nämlichen Resultat habe ich auch mit dem biegsamen Kernleiter des Versuches XIII angestellt.

Die beiden Enden des Platinkerndrahtes waren bis auf die Baumwollhülle umgebogen und dort mit Zinnfolie festgemacht.

Dieser Kernleiter zeigte wieder alle an Nerven beobachteten Erscheinungen des Ruhestroms und überdies unter Anwendung constanter und faradischer Ströme die bekannten Erscheinungen des positiven und negativen Zuwachses und der negativen Schwankung nicht nur des Ruhestroms, sondern auch der elektrotonischen Ströme selbst; kurz und ohne Ausnahme all die merkwürdigen elektrischen Eigenschaften, welche am lebendigen Nerv beobachtet worden sind.

Selbst mechanische Erschütterungen in gewissen Punkten dieses biegsamen Kernleiters rufen eine Schwankung des Ruhestroms in anderen Punkten hervor. Diese Schwankung ist aber nicht immer negativ, auch wohl positiv. Es machen diese Versuche den Eindruck, als ob die mechanische Tetanisirung, welche Fürsorge man auch nehme, nur den Contact der Elektroden mit der Baumwollhülle änderte, dass hier also hauptsächlich Widerstandsänderungen eintrafen. Es ist aber nicht zu leugnen, dass noch eine zweite Ursache für das Auftreten der Schwankungen besteht. Von beiden Enden des Kernleiters laufen nach beiden Seiten elektrotonische Potentialunterschiede fort und der im Galvanometerkreise beobachtete Strom ist die Resultante beider entgegengesetzten Wirkungen. Die mechanische Zermalmung z. B. des einen Theils muss die elektrotonische Wirkung des betreffenden Endes vernichten und somit auch die Grösse der Resultante beeinflussen, und zwar soll diese Vernichtung einen positiven Zuwachs des Ruhestroms hervorrufen. Beim Kernleiter mit

Zinksulfat und Zinkelektroden verband ich *a* mit *i* mittelst eines Stromschlüssels, während *h* mit *k* mittelst Galvanometer verbunden waren. Die sehr starke Ablenkung wurde auf die bekannte Weise durch Rheochord und constante Elemente compensirt. Jetzt schloss man den Schlüssel zwischen *a* und *i*: auch von diesem Ende gingen jetzt elektrotonische Wirkungen aus, der Strom am Galvanometerkreise erlitt eine negative Schwankung. Die Oeffnung des Schlüssels an *ai* dagegen verursachte immer einen starken positiven Zuwachs. Dasselbe geschah, wenn ich den Stromschlüssel zwischen *c* und *d* einschob und *a* mit *i* bleibend verband. Die Differenz des Schlüssels in *cd* verursacht immer eine starke positive Schwankung des in *hk* vorhandenen Ruhestroms. Das gleiche Resultat wurde erhalten, wenn *h* mit *k* kurz verbunden und der Galvanometer im Kreise *fg* eingeschaltet war.

Anders aber ist die Sache, wenn man drei oder mehr der biegsamen Kernleiter des Versuches XIII zusammenfügt, nachdem bei allen die Enden des Platinkerndrahtes umgebogen und mit Zinnfolie auf der Baumwollhülle befestigt sind, und jetzt mit Chlorsilberelektroden von zwei Längsschnittpunkten nahe von einem Ende zum Galvanometer ableitet. Das mechanische Zusammenklopfen dieses Kernleiterbündels am anderen Ende verursacht jetzt eine negative Schwankung des Ruhestroms, weil dann die Theile des Bündels besser zusammenhängen und dadurch die vom anderen Ende ankommenden elektrotonischen Ströme an Stärke gewinnen.

Wenn man nun beachtet, dass der Muskel wie ein Elektrodynamometer auf Ströme von entgegengesetzter Richtung mit dem nämlichen Zeichen reagirt, so erhalten diese letzten Versuche eine grosse Bedeutung für die Erklärung der von Nerven aus durch mechanische oder chemische Wirkungen ausgelösten Zuckungen.

Am Ende dieses Paragraphen ist es, glaube ich, erlaubt zu schliessen, dass alle an lebendigen Nerven beobachteten elektrischen Erscheinungen ohne irgend eine Ausnahme ihre Erklärung finden in der Kernleiternatur der Nerven, in Verbindung mit der Negativität der im Absterben begriffenen Nervenstrecken, dass also diese elektrischen Erscheinungen keinen Grund für die Hypothese eines besonderen in Nerven sich fortpflanzenden Erregungszustandes und eines mit diesem verknüpften Actionsstromes bilden. Auch ohne diesen besonderen Erregungszustand anzunehmen, kann man die Zuckungen eines am Ende eines motorischen Nerven befindlichen Muskels be-

greifen, weil doch der Muskel wie das Telephon einen höchst empfindlichen, stromprüfenden Apparat bildet. Auf welche Weise der Muskel diese Rolle erfüllt, lasse ich für weitere Untersuchungen übrig: bis jetzt blieben hier alle am Muskel selbst beobachteten Erscheinungen ausser Acht.

Nur sei es mir gestattet, noch folgenden Versuch mitzutheilen. Ein gewöhnliches Froschpräparat wird gut isolirt an einen gläsernen Stab aufgehängt. Anstatt aber einen der N. Isch. mit dem elektrischen Strom zu reizen, wird der künstliche Kernleiter des Versuches XIII angelegt. Das eine Ende *a* dieses Kernleiters ist isolirt, das andere, *b*, wird etwas umgebogen und drückt mit der Baumwollhülle fest auf die Muskelmasse des Frosches ohne irgend eine Berührung mit den beiden N. Isch. Etwa 1 oder 2 cm von *c* entfernt sind 2 Thonelektroden auf dem künstlichen Kernleiter angebracht, durch welche man einen elektrischen Strom führen kann. Bei Schliessung und Oeffnung dieses Stromes zuckt jedesmal der Muskel, zwar nicht gar so stark wie bei der elektrischen Reizung von Nerven aus, aber doch genau auf dieselbe Weise.

Man kann den künstlichen Kernleiter an jeden beliebigen Punkt der Muskelmasse anlegen; falls der Contact nur gut und die Baumwolle recht gut angefeuchtet ist, werden die Zuckungen oder die localen Contractionen nicht ausbleiben. Wenn z. B. der Kernleiter an der Kniekehle angebracht ist, so kann man recht schön die Zuckungen der Nägel beobachten.

Weit besser als durch die Schliessung oder Oeffnung eines constanten Stromes kann man mit der Inductionsrolle Zuckungen und Tetanus hervorrufen. Nicht so schön, aber doch auf unzweideutigere Weise gelingt der Versuch auch dann, wenn der Frosch curarisirt worden ist.

5. Schon im Jahre 1872 (Pflüger's Archiv Bd. 5 S. 268) hat Hermann zwei Theorieen der extrapolaren Kernleitung gegeben.

Die erste Theorie ist folgende:

Wenn von drei Elektroden *A* und *K* ein elektrischer Strom in die Hülle des Kernleiters geführt wird, so bilden sich Stromfäden, die von *A* und *K* nach allen Seiten in die Flüssigkeit hineinziehen: jeder Stromfaden geht von der Anode *A* aus und kehrt durch die Flüssigkeit und den metallenen Kern zur Kathode *K* zurück. In jedem Stromfaden ist die Intensität des Stromes der Länge derselben um-

gekehrt proportional. Extrapolar besitzen sie also bald eine so grosse Länge, dass die Intensität in diesen Stromcurven bald auf Null herabfällt. „So wie aber beim Uebergang der Ströme aus der Flüssigkeit in's Metall eine Polarisation und dadurch ein Uebergangswiderstand auftritt, ändert sich die Sache. Zu dem der Länge proportionalen Widerstande in jeder Stromcurve addirt sich jetzt ein nahezu constanter Uebergangswiderstand *u*; es ist aber klar, dass durch die Hinzufügung eines überall gleichen Widerstandes zu den ungleichen Widerständen deren Ungleichheit sich vermindern, die Intensität aber weniger ungleich werden müsse, d. h. der Strom sich auf viel entferntere Strombahnen noch mit merklicher Intensität ausbreiten muss. Die Polarisation bewirkt also ganz allgemein eine grössere Ausbreitung des Stroms, so dass noch in grosser Entfernung angelegte ableitende Bogen merkliche Stromzweige erhalten."

Fig. 2.



Die zweite Theorie wird von Hermann auf die folgende Weise gegeben:

„Müssen die Linien $A\,h$ und $g\,k$ die Wege bezeichnen, welche ohne Polarisation den Strom bei der Dünne der feuchten Umhüllung und dem guten Leitungsvermögen des metallenen Kernes fast ausschliesslich nehmen würde. . . . . . . Findet nun eine Polarisation bei h und g statt, so wird das Metall bei h sich mit Wasserstoff, bei g mit Sauerstoff beladen. Nun verhält sich die mit Wasserstoff beladene Platinstelle h sofort elektromotorisch gegen die unbeladenen Nachbarstellen h_1, h_2 u. s. w., und es entstehen in der feuchten Hülle dadurch Ströme von der Richtung, die in der Figur angegeben ist; diese Ströme scheiden bei h_1 Wasserstoff, bei h Sauerstoff ab, aber zu wenig, um den dort vorhandenen und durch den Strom stets neu entstehenden Wasserstoff vollständig zu neutralisiren. Die beladenen Stellen h_1 wirken nun ebenso gegen ihre unbeladene Nachbarschaft h_2 elektromotorisch, es entstehen die Ströme $h_1\,h_2$, die wieder h_2 mit

Wasserstoff beladen u. s. w. Die ganze Umgebung von *A* ist also, sobald ein stationärer Zustand eingetreten ist, in nach der Entfernung abnehmendem Grade mit Wasserstoff, ebenso die Umgebung von *K* mit Sauerstoff beladen. Die durch diese Ladungen entstehenden und sie erhaltenden Ströme werden in einem angelegten leitenden Bogen in der gezeichneten Weise zur Anschauung kommen."

Hermann glaubt, dass beide Theorieen ganz zu demselben Resultat führen. Es besteht aber ein sehr grosser Unterschied.

Nach der ersten Theorie verschwinden alle extrapolaren Erscheinungen zur selben Zeit, als der Hauptstrom geöffnet wird, denn die Stromlinien existiren nur während der Anwesenheit des Stromes. Weil aber Hermann selber (Pflüger's Archiv Bd. 35 S. 11) auf's unzweifelhafteste constatirt hat, dass die erste Phase in vielen Fällen sogar erst nach der Oeffnung des polarisirenden Stromes beginnt, so kann von dieser Theorie weiter nicht mehr die Rede sein.

In Folge der zweiten Theorie verhält sich die Sache ganz anders. Weil hier die Quelle der extrapolaren elektrischen Erscheinungen in den am Kerndraht abgeschiedenen Gasen gesucht wird, und diese Gase auch nach der Oeffnung des Hauptstroms fortfahren, locale Ströme auszulösen, so liefert in dieser zweiten Theorie die von Hermann gefundene und von Boruttau bestätigte obengenannte Thatsache keine Schwierigkeit. Weil diese Theorie überdies ganz in Uebereinstimmung mit der von mir gefundenen Thatsache ist, dass im Kerndrahte selbst kräftige elektrische Wirkungen stattfinden, so wollen wir diese zweite Theorie Hermann's zur weiteren Erklärung der an Kernleitern beobachteten Erscheinungen anwenden.

6. Es ist vollkommen klar, dass sich an den Punkten *g* und *h* des Kerndrahts Sauerstoff und Wasserstoff absondern, und dass von diesen Punkten aus extrapolare Localströme entstehen, die nach einander die ganze extrapolare Strecke des Kerndrahts an der Seite von *K* mit Sauerstoff, an der Seite von *A* mit Wasserstoff bedecken.

Weil nun das mit Sauerstoff beladene Platin sich elektropositiv zu den unbeladenen Theilen verhält, so bewegt sich an der Kathodenseite im Kerndrahte positive Elektricität von *g* zu i_8; ebenso geht an der Anodenseite negative Elektricität von *h* zu *l*. Diese Bewegung möchte ich aber keine elektrische Welle nennen. Es ist eine reine Diffusionserscheinung, welche nach denselben Gesetzen vor sich geht, die Fourier für die Wärmebewegung in festen Leitern gefunden hat.

Noch besser lässt sich die hier bestehende Diffusion der Elektricität mit der Elektricitätsbewegung in einem nicht vollkommen isolirten unterseeischen Kabel vergleichen.

Letztere Bewegung ist von Thomson (jetzt Lord Kelvin) und Stokes in Phil. Mag. 1856 Bd. 11 S. 147 untersucht worden, und wenn man statt der condensirenden Wirkung der Guta-Percha-Hülle die polarisirende Wirkung der Ionen, statt des Verlustes durch unvollkommenere Isolirung die Occlusion der Gase im Platin und die Zerstreuung derselben in die Flüssigkeit stellt, so kann man auf die Elektricitätsbewegung in Kernleitern die Formel dieser beiden eminenten Forscher direct anwenden.

Man braucht also nicht mehr, wie Boruttau (Pflüger's Archiv Bd. 58 S. 63) behauptet, eine physikalische Theorie der Kernleiterwirkung zu suchen: dieselbe ist schon im Jahre 1856, obgleich zu einem andern Zwecke, gegeben.

Aus den mathemathischen Entwicklungen geht hervor, dass, wenn man das eine Ende eines dergleichen Kabels während einer kurzen Zeit, *a*, mit einer Batterie verbindet und dann isolirt, in jedem Punkt des Kabels zu seiner Zeit ein elektrischer Strom auftritt, welcher erst auf eine gewisse Zeit ganz unmerklich ist, dann zu einem maximalen Werth heransteigt, um später wieder allmälig abzunehmen, alles in Zeiträumen, welche mit dem Werthe von *a* zu- und abnehmen.

Je weiter der Punkt des Kabels vom Anfange entfernt ist, um so länger dauert es, ehe das Maximum des Stromes in diesem Punkte anlangt.

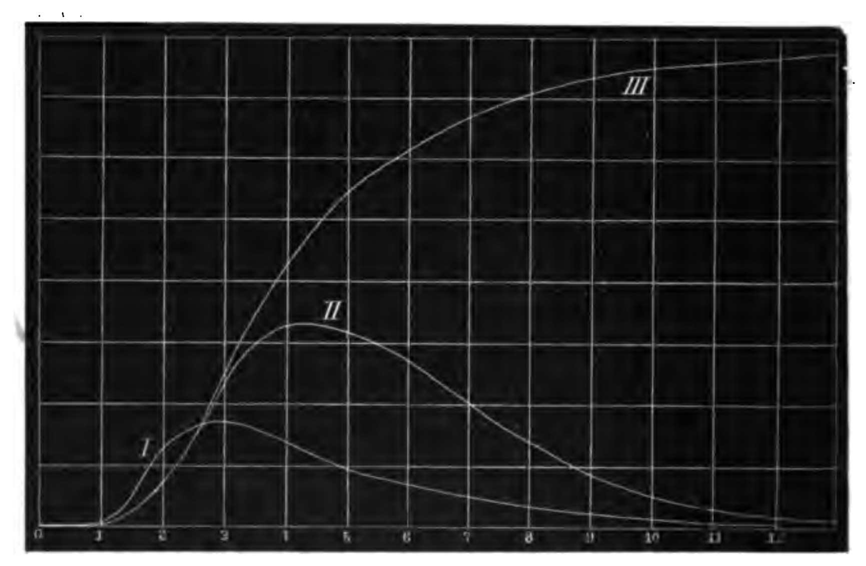
Stokes gibt in nachstehenden Curven die graphische Vorstellung, wie in einem bestimmten Punkte des Kabels die Stromintensität mit der Zeit zu und abnimmt: in Curve I ist die Zeit des Stromschlusses am Anfange des Kabels sehr kurz, in Curve II ist sie länger, in Curve III sehr lang. Merkwürdigerweise zeigen diese Curven dasselbe Latenzstadium (von 0 bis 1), das man bei allen Zuckungscurven der Muskeln beobachtet. Die Formeln weisen an, dass im Allgemeinen zu jeder folgenden Längeeinheit mehr Zeit benöthigt ist als zu der vorhergehenden, dass also die sogenannte Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bewegung von der Entfernung zum Anfange abhängig ist. Wenn aber am Anfange des Kabels kurze, periodisch abwechselnde Stromstösse gegeben werden, so entsteht wirklich eine

wellenartige, fortschreitende Bewegung der Elektricität, die mit constanter Geschwindigkeit das Kabel durcheilt.

Diese Kabeltheorie kann man jetzt mutatis mutandum auf die extrapolare Bewegung der Elektricität im Kerndraht eines Kernleiters anwenden.

Bei Anwendung constanter Ströme bewegt sich dann im Kern an der Kathodenseite eine gewisse Menge positiver Elektricität, die die Bewegung einer gleichen Menge negativer Elektricität in der Flüssigkeit zur Folge hat. Nach einiger Zeit ist in jedem Punkte

Fig. 3.



des Durchschnitts, wie Curve III Fig. 3 anzeigt, ein bestimmtes Potential aufgetreten, die für mehr entfernte Punkte einen kleineren Werth als für proximale Punkte besitzt. In einem extrapolar angelegten ableitenden Bogen tritt also ein constanter Strom auf: dieser Strom ist der elektrotonische Strom du Bois-Reymond's.

Werden am Anfange nur kurz dauernde Stromstösse gegeben, so ändert sich in jedem extrapolar gelegenen Punkte das Potential nach Curve I oder II, und das Maximum wird um so später erreicht, je weiter der Punkt von den Punkten *g* und *h* entfernt ist. An der Kathodenseite ist dann von zwei extrapolar angelegenen Elektroden die proximale erst negativer als die andere, später weniger negativ.

Man findet dann im ableitenden Bogen erst eine negative, dann eine positive Strömung: negative und positive Phase.

Von der Anodeseite geht zu gleicher Zeit durch die Wasserstoffentwicklung am Kerndrahte eine negative Menge Elektricität extrapolar hinweg, und dadurch entsteht in der Flüssigkeit eine Bewegung positiver Elektricität, die als anelektrotonische Ströme am ableitenden Bogen sichtbar werden.

Aber hierbei bleibt es nicht.

Die an der Kathodenseite gelegenen Kerndrahtpunkte wirken, weil sie auf demselben Kerndraht gelegen sind, ebenfalls elektromotorisch gegenüber den an der Anodenseite gelegenen Kerndrahtpunkten, und die an der Anodenseite befindlichen wieder auf die an der Kathodenseite gelegenen Punkte. Hierdurch entsteht eine noch verwickeltere Elektricitätsbewegung, welche man am besten verfolgen kann, wenn man sich vorstellt, von den beiden Punkten g und h diffundire die Elektricität nach beiden Seiten des Kerndrahtes, und das elektrische Potential in einem beliebigen Querschnitt sei in jedem Augenblick der Differenz der beiden Potentiale, welche jede Elektrode für sich allein in diesem Querschnitt hervorrufen würde.

Welche dieser nach beiden Seiten fortschreitenden Diffusionen die stärkere ist, hängt von der Art der Flüssigkeit und des Kerndrahtes ab, denn diese bestimmen die elektrische Ladung der Ionen, die Occlusion der Gase im Kerndrahte und die Auflösung derselben in die Flüssigkeit. So fand Boruttau bei Anwendung von Platin und Palladiumkernen in grösserer Entfernung immer den Katelektrotonus stärker; bei Kupfer- und Golddrähten dagegen den Anelektrotonus. Es kann auch sein wie bei den Nerven, dass in kleineren Entfernungen der Anelektrotonus der Mächtigere ist, während in grösserem Abstande der Katelektrotonus vorherrscht.

Bei Anwendung von Wechselströmen, wie sie der Inductionsapparat mit spielendem Hammer gibt, ist in schneller Abwechslung jede Elektrode bald Kathode, bald Anode. Nach beiden Seiten geht dann extrapolar eine ganze Reihe von Diffusionsströmen aus, deren eine Hälfte negativ, die andere Hälfte positiv ist, und in jedem Punkt des Kernes und daher auch an jedem Punkte P der Hülle ist das zeitliche Potential die algebraische Summe aller Potentiale, die zur selben Zeit in P anlangen.

Wenn man weiter beachtet, dass bei allen Versuchen immer zwei verschiedenen Punkte der Hülle durch einen Messapparat ver-

bunden sind, dass man also immer bloss die Potentialdifferenz dieser zwei Punkte misst, so werden alle Resultate Hermann's und Boruttau's ungezwungen erklärt.

Hier muss ich mich aber ganz bestimmt gegen die Behauptung Boruttau's erheben, dass seine Versuche zur Stütze des du Bois-Reymond'schen Erregungsgesetzes gelten könnten, „dass also nicht das Auftreten eines galvanischen Stromes, sondern seine Intensitätsschwankung erregend wirkt, und zwar um so stärker, je rascher sie erfolgt“ (Pflüger's Archiv Bd. 58 S. 67).

Diese Behauptung ist ganz bestimmt unrichtig. Die Versuche Boruttau's vertragen sich mit dem du Bois-Reymond'schen Gesetze gar nicht.

Boruttau's ganzes Streben ist doch, das Wesen der Nervenleitung auf die Kernleitereigenschaft der Nerven zurückzuführen. Die Kernleiter aber zeigen eine extrapolar ablaufende elektrische Phase, deren Stärke und Zeitdauer gar nicht von der Stromschwankung, sondern von der Stärke und der Dauer des Hauptstromes abhängt. Bei Boruttau's Rheotomversuchen betrug die Dauer dieser Phase, je nach der des Hauptstromes von 35—45 Theilstrichen oder von 0,0094—0,011 Secunden.

Bei Anwendung constanter Ströme haben auch die elektrotonischen Ströme einen constanten Charakter und dauern mehrere Minuten fort.

In dieser Phase, in diesen Strömen sucht Boruttau das Wesen der Nervenleitung. Wie kann man denn zugleich behaupten, dass nur das Schwanken des Hauptstromes Erregung veranlasse?

Zwar findet Boruttau bei Kernleitern von 4 m Länge, dass nur im Momente des Schlusses auf der Kathodenseite ein geringfügiger, kurz dauernder Ausschlag im Sinne der Negativität der proximalen Elektrode sichtbar war, welche bei Anwendung von Inductionsstössen an Deutlichkeit gewann, aber dieses Resultat ist ein nothwendiger Erfolg der allmälig mit der Entfernung abnehmenden Potentialänderung und der begrenzten Empfindlichkeit des Messinstruments. Hätte Boruttau einen weniger empfindlichen Galvanometer angewendet, so wäre ihm schon in 1 Meter Entfernung dasselbe Ereigniss begegnet. Wo ein sehr empfindlicher Apparat eine ganze, eine gewisse Zeit überdauernde elektrische Phase zeigt, wird ein weniger empfindliches Instrument scheinbar nur eine einzige Zuckung machen: diese Zuckung fällt aber nicht zur Zeit des

Stromschlusses, sondern in dem Momente, in welchem der Gipfel der Diffusionswelle unter der proximalen Elektrode hinweggeht. Hochgespannte Ströme veranlassen stärkeren Potentialwechsel als schwache: daher findet man mit Inductionsströmen in grossen Entfernungen deutlichere Anweisungen als mit constanten Strömen.

Auf diese Weise wird Jeder die Versuche Boruttau's (Pflüger's Archiv Bd. 59 S. 66) auffassen, und dann begreift auch Jeder, dass, wenn man wirklich das Wesen der Nervenerregung in der Kernleitereigenschaft der Nerven erblickt, man auch gezwungen wird, das du Bois-Reymond'sche Gesetz der Nervenerregung zu verwerfen.

Ebensowenig ist in der Kernleitertheorie der Nervenleitung Platz für eine eigentliche Erregung durch Oeffnung. Die Oeffnung des Hauptstroms hat nur die Beendigung der elektrischen Phase zur Folge, mehr nicht. Boruttau hat dies recht gut eingesehen und erinnert an die Versuche Tigerstedt's und Grützner's[1]), „die nicht ohne Erfolg die Annahme vertheidigt haben, dass die Erregung von der Anode aus bei Verschwinden des Anelektrotonus nur beruhe auf Entstehen von Katelektrotonus, während an der vorherigen Anode nunmehr die Kathode des entgegengerichteten Nachstromes werde".

Die Kernleitertheorie der Nervenleitung ist dagegen im vollvollkommenen Einklang mit den beiden von mir gegebenen Gesetzen:

Erregend wirkt ein Strom durch sein Auftreten[2]), und jeder elektrische Reiz veranlasst die Differentialerregung s, welche gefunden wird durch die Formel:

$$s = \alpha i e^{-\beta i s}$$[3])

Zu gleicher Zeit gibt diese Theorie eine einfache Antwort auf die von mir in § 5 meiner zweiten Abhandlung gestellte Frage: „Warum reizt der elektrische Strom nur an der Kathode?"

Ich suchte damals die Beantwortung dieser Frage in der Wasserentziehung an der Kathode. Die Kernleitertheorie aber gibt die folgende Antwort: weil in den Nerven die Polarisation durch Sauerstoff der durch Wasserstoff überlegen ist.

Warum die Nervenkerne von Fröschen und Säugethieren sich in dieser Hinsicht wie Platin und nicht wie Kupfer verhalten, kann

1) Die Meinigen werden nicht vermeldet.
2) Pflüger's Archiv Bd. 53 S. 598.
3) Pflüger's Archiv Bd. 52 S. 104.

dann einen Gegenstand weiterer Untersuchung bilden. Vorläufig ist die Sache genügend beleuchtet.

Zugleich sieht man, dass eine Erregung an der Anode gar nicht ausgeschlossen ist, und dass es Thiere geben kann, in welchen der Anelektrotonus immer den Katelektrotonus übertrifft.

Dass wirklich meine Formel sich recht gut mit obiger Theorie verträgt, folgt z. B. aus den Versuchen Bouty's (Ann. de chém. et de phys. 7. Serie 1894 p. 157) über den zeitlichen Verlauf des Polarisationspotential von Platin. Dieser Forscher misst den Werth der Polarisation auf verschiedenen kleinen Zeiten nach der Schliessung des Hauptstromes und gibt in Tabellen diese Zeiten und Potentiale für verschiedene Flüssigkeiten. Diese Tabellen nun lassen sich recht gut zusammenfassen in der Formel:

$$p = P\,(1 - e^{\beta t}),$$

wie aus folgender Tabelle erhellt.

Zeit	Polarisation in 1/1000 D. beobachtet	berechnet nach obiger Formel	Differenz
1	24,15	23,75	— 0,4
2	46,8	44,8	— 2
3	63,6	63,5	— 0,1
4	78,3	80	+ 1,7
5	90,6	94,7	+ 4,1
8	126,9	129,5	+ 2,6
10	153,6	146,7	— 6,9

Durch rein theoretische Betrachtungen gelangt Wiedenburg (Wied. Ann. Bd. 51) zu der Formel

$$p = P\,\frac{1 - e^{-\beta t}}{B - C e^{-\beta t}},$$

welche Formel sich durch Vernachlässigung klarer Factoren in obige, mehr einfache, verwandelt. Was aber die Hauptsache ist, auch bei den Formeln Thomson's findet man dieselbe Terme $e^{-\beta t}$ wieder[1]).

---

1) Die Antwort Cybulski's u. Zanietowski's in Pflüger's Arch. Bd. 59 S. 425 kann schwerlich eine Widerlegung meiner Formel genannt werden. Ihre frühere Haupteinwendung, dass die Energie keinen minimalen Werth erreicht, wird jetzt mit Stillschweigen übergangen; dass ihre Condensatoren leck waren, konnten sie nicht leugnen, und ihre Versuche mit Luftcondensatoren sind an Nervenstrecken verschiedener Länge angestellt. Jeder weiss aber, dass derselbe Strom um so stärker erregend wirkt, je länger die durchströmte Nervenstrecke

Auch die neuen Versuche von Dubois in Bern (Arch. de phys. 1897 p. 746) finden in meiner Formel ihre Erklärung. Im Deutsch. Arch. für klin. Med. Bd. 51 S. 208 fand ich für die Totalerregung beim Schliessen eines constanten Stromes:

$$\gamma = \frac{\alpha}{\beta} \cdot J \cdot \frac{\gamma}{\gamma + \beta},$$

in welcher γ die Geschwindigkeit bedeutet, mit welcher der Strom zu seinem constanten Werthe J aufsteigt. Diese Geschwindigkeit aber wird durch die Selbstinduction der Drähte, die die Kette bilden, in hohem Maasse beeinflusst: daher die Erscheinung, dass bei Einschaltung sehr grosser Widerstandsrollen die minimale Zuckung erst bei viel höheren Stromintensitäten eintraf als ohne dieselben.

7. Nicht nur die von Hermann und Boruttau mittelst Rheotomversuchen beobachteten Erscheinungen, sondern auch alle schon früher entdeckten Thatsachen finden ihre Erklärung in der Diffusionstheorie der Kernleitung, wenn man nur beachtet, dass jeder Strom in jedem benachbarten geschlossenen Kreise elektrotonische Ströme hervorruft, auch wenn in diesem Kreise selbst schon eine andere Stromquelle vorhanden ist. Bei gleichzeitiger Anwendung constanter und faradischer Ströme z. B. modificirt der constante Strom durch seine elektrotonische Wirkung diejenige des Inductionsapparates und umgekehrt. Ueberdies wirkt der Ruhestrom selbst elektrotonisch auf beide Kreise ein. Die beobachteten Ablenkungen sind die Resultante aller gleichzeitigen Einflüsse. Wenn man sich nun erinnert, dass jeder Strom die proximale Elektrode an der Anodenseite positiv, an der Kathodenseite aber negativ macht, dass letztere Wirkung meistens etwas stärker ist als erstere, und dass (siehe Hermann Handbuch Bd. 2 S. 180) die negative Elektricität des künstlichen Querschnitts noch weit entfernte Nerventheile negativ macht, so können wir alle bekannten Erscheinungen erklären.

Du Bois-Reymond z. B. findet, dass faradische Ströme eine negative Schwankung des Ruhestroms verursachen. Natürlich, denn in welcher Richtung der primäre Strom der Inductionsrolle auch gehe, immer wird die Elektrode A Fig. 4 in rascher Aufeinanderfolge bald Kathode, bald Anode sein. Weil aber im ersteren Falle die

ist. Meine Formel gibt nur an, wie verschiedene elektrische Entladungen auf dieselbe Nervenstrecke einwirken, d. h. wie die Erregung sich ändert, wenn nur die elektrotonischen Kräfte geändert werden und nicht die Organe, auf welche sie einwirken.

elektrotonische Wirkung stärker ist, so wird die proximale Elektrode B negativ, und der Ruhestrom erleidet eine negative Schwankung.

Du Bois-Reymond fand diese Schwankung um so stärker, je stärker der Ruhestrom selbst ist. Auch wieder ganz natürlich, denn die Negativität des Querschnitts Q pflanzt sich auch im Nerven fort. Die negative Wirkung der Inductionsrolle wird hierdurch verstärkt, die positive geschwächt, und die resultirende Wirkung der Inductionsrolle ist also um so stärker, je kräftiger der Ruhestrom selbst ist.

Hat, wie bei meinem Versuche mit künstlichem Kernleiter, der Ruhestrom die umgekehrte Richtung, so ist $Q +$ und $B -$. Es pflanzt sich dann im Kernleiter von Q aus eine positive Phase fort, die die negative Wirkung der Inductionsrolle schwächt und die positive verstärkt. In diesem Falle ist die Resultante in B positiv, und erleidet also der Ruhestrom doch noch eine negative Schwankung.

Fig. 4.



Du Bois-Reymond und Boruttau fanden, dass kurze frequente Kettenströme von gleicher Richtung oft nur negative Schwankungen hervorrufen. Auch dies wird erklärt durch die negative Wirkung des künstlichen Querschnitts, durch welche die positive, von der Anode ausgehende Phase geschwächt, die negative, von der Kathode kommende Phase aber verstärkt wird.

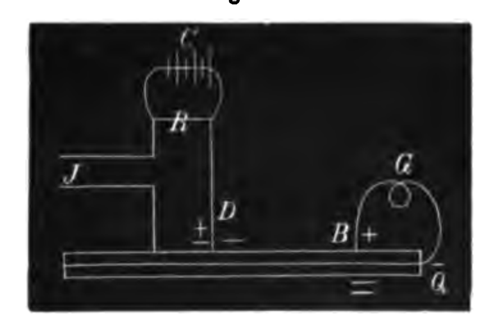
Bernstein (l. c. S. 615) untersucht die Zusammenwirkung constanter und faradischer Ströme und bestimmt die negative Schwankung des Ruhestroms in der infrapolaren, der suprapolaren und der intrapolaren Stellung der Reizelektroden, und sagt dann S. 613: Vergleicht man die aus den drei Versuchsreihen erhaltenen Resultate mit den Erscheinungen des Pflüger'schen Elektrotonus, so erscheint die Analogie in beiden Zuständen in die Augen springend. In der That vertritt in den angeführten Versuchen das Galvanometer nur die Stelle des Muskels, und was an diesem die Zuckung bedeutet, das bedeutet an jenem die negative Schwankung.

Alle Resultate Bernstein's lassen sich aber aus der Diffusionstheorie ableiten.

Fig. 4 erläutert, warum in der infrapolaren Stellung der Reizelektroden die negative Schwankung im Anelektrotonus kleiner, im Katelektrotonus grösser ist.

Im ersteren Falle verkleinert doch der positive Zuwachs des Ruhestroms durch den constanten Strom die negative Schwankung durch den faradischen Strom, im zweiten Falle verstärkt er dieselbe. Gibt man aber den beiden Strömen eine grössere Intensität, so verstärkt im Anelektrotonus der constante Strom die negativen Inductionsströme, wie in Fig. 4 angedeutet ist, und schlägt daher, wie Bernstein auch gefunden hat (l. c. S. 611), das Resultat in's Gegentheil um. Die Zeichen über den Nerven geben die gegebenen Potentiale an; die unteren Zeichen weisen an, wie die gegebenen Potentiale von den benachbarten Kreisen modificirt werden.

Fig. 5.



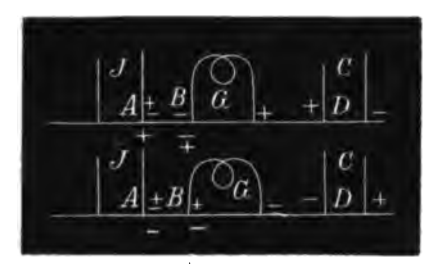
Für die suprapolare Stellung gilt vollkommen dasselbe Raisonnement. Bei Anwendung stärkerer Ströme ist auch hier die negative Schwankung im Anelektrotonus grösser als im Katelektrotonus. In der intrapolaren Stellung (Fig. 5) bildet die secundäre Rolle des Inductoriums mit der Batterie *C* eine einzige Kette. Die Inductionsströme gehen also auch durch die Batterie und erleiden dann, falls sie eine dem Hauptstrome entgegengesetzte Richtung besitzen, eine Schwächung durch Polarisation. Zugleich lässt sich die Negativität des Querschnitts *Q* jetzt stark in beiden Kreisen gelten. Kein Wunder, dass hier die Resultate so schwankend sind. Bernstein fand bisweilen eine Verstärkung der negativen Schwankung für beide Richtungen des constanten Stromes. Dasselbe fand ich auch oft mit meinem Zinksulfatkernleiter. An Nerven fand ich auch manchmal die Schwankung verstärkt im Katelektrotonus, geschwächt im Anelektrotonus.

Einfacher wird die Sache, wenn man von 2 Längsschnittpunkten ableitet und also der Ruhestrom seine Bedeutung verliert. Hier können wieder 4 Fälle vorkommen.

1. Fall: Die abgeleitete Stelle befindet sich zwischen den Elek-

troden der beiden Ströme (contrapolare Stellung), Fig. 6. Ist dann *D* die Anode des constanten Stromes, so wird *B* negativ, und der elektrotonische Strom in *G* würde vom faradischen Strome gestärkt werden (wie ich manchmal auch an Nerven beobachtete), wenn nicht auch die positiven Inductionsströme vom constanten Strome einen positiven Zuwachs erhielten, wodurch sie in den Stand gesetzt werden, die negativen zu überwiegen und dann in *B* ein positives Potential zu verursachen. Alsdann erleidet auch jetzt der elektrotonische Strom in *G* eine obgleich kleine, negative Schwankung. Wenn *D* die Kathode bildet, so sehen wir in Fig. 6 gleich, dass der elektrotonische Strom in *G* stets eine ziemlich grosse negative Schwankung vom faradischen Strom erleiden wird.

Fig. 6.



2. Fall: Der Inductionskreis befindet sich zwischen der abgeleiteten Stelle und dem constanten Strom (infrapolare Stellung), Fig. 7. Ist dann *D* die Anode, so wirkt der constante Strom verstärkend auf die negativen Ströme des Inductoriums, und umgekehrt die Inductionsströme schwächend auf die constanten Ströme und auf die elektrotonische Wirkung desselben im Galvanometerkreise. Beide Umstände wirken zusammen, die negative Schwankung in *B* recht gross zu machen. Jetzt sieht man auch, warum der faradische Strom in *B* viel grössere Wirkung ausübt in der Gegenwart der constanten Kette *C* als für sich allein. Ist *D* die Kathode, so ist im Galvanometerkreise *B* negativ, und diese Negativität würde von den Inductionsströmen verstärkt werden (wie ich viele Male an Nerven beobachtete), wenn nicht auch durch *D* in *A* ein positives Potential entstand, welches so stark sein kann, dass jetzt die positiven Ströme des Inductionsapparates die negativen überwiegen und am Galvanometer eine kleine negative Schwankung beobachtet wird.

Fig. 7.



3. Fall: Der constante Strom befindet sich zwischen dem Galvano-

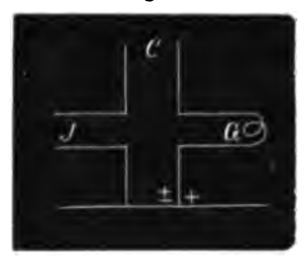
meterkreise und der Inductionselektrode (suprapolare Stellung), Fig. 8. Ist *D* die Anode, so erleidet der elektrotonische Strom in *B* eine starke negative Schwankung. Ist *D* die Kathode, so ist es wieder zweifelhaft, ob eine kleine negative Schwankung oder eine Verstärkung des negativen elektrotonischen Stromes in *B* eintreten will.

4. Fall: a) Der constante Strom, der Inductionskreis und der Galvanometerkreis bilden eine einzige Kette (intrapolare Stellung), Fig. 9. Hier muss der Hermann'schen Theorie zufolge die Ab-

Fig. 8.



Fig. 9.



lenkung am Galvanometer immer vom faradischen Strome verstärkt werden. Sowohl an Nerven wie an Kernleitern kann ich aber nichts Anderes finden, als dass die Oeffnungsströme hier immer den Schliessungsströmen in Stärke überlegen sind, dass also die Ablenkung am Galvanometer in dem einen Stande der Wippe des primären Stromes des Inductoriums vergrössert, in dem andern aber geschwächt wird: es ist dieselbe Erscheinung, welche von V. Fleischl (Sitzungsbericht der Wiener Akademie 1878) an Nerven, und von Gärtner (Med. Jahrb. 1888) am menschlichen Körper beobachtet und von mir im Deutsch. Archiv für klin. Med. Bd. 52 S. 546 1894 eingehend untersucht und erklärt worden ist.

Fig. 10.



4 b) Der constante Strom bildet mit dem Galvanometerkreise eine einzige Kette; die Inductionselektroden werden extrapolar, amphi-

polar oder intrapolar angelegt (Fig. 10). Dieser Fall ist von Hermann (Pflüger's Archiv Bd. 6 S. 560) untersucht worden. In allen Combinationen wird der constante Strom vom faradischen Strom verstärkt, positiver Zuwachs.

Ich kann dieses Resultat Hermann's sowohl für Nerven als für Kernleiter nur bestätigen. In der amphipolaren und intrapolaren Stellung ist die Verstärkung selbst für schwache Ströme bedeutend. In der extrapolaren Stellung ist der positive Zuwachs klein und geht, falls D in Fig. 10 die Anode ist, oft in einen negativen über. Die Zeichen über dem Nerv sind wieder die Potentiale der Elektroden, die Zeichen darunter geben an, wie diese Potentiale vom Nachbarkreise modificirt werden. Bis in alle Besonderheiten findet man in letzteren Zeichen die Erklärung aller Erscheinungen zurück.

Man sieht, ohne andere Hypothesen lassen sich aus der Diffusionstheorie alle bekannten Erscheinungen ableiten.

Es wäre selbst möglich, für jeden gegebenen Fall die Ablenkungen am Galvanometer mathematisch zu bestimmen, wenn nur alle Entfernungen und die Intensität und Widerstände aller Stromkreise gegeben wären.

Man braucht dazu nur zu wissen, wie das durch die Diffusion in einem Punkte des Kernleiters entstandene Potential von der Entfernung zur benachbarten Elektrode des Stromes abhängig ist.

Lord Kelvin findet die Formel:

$$v = V \frac{e^{(l-x)\sqrt{h}} - e^{-(l-x)\sqrt{h}}}{e^{l\sqrt{h}} - e^{-l\sqrt{h}}} \quad \ldots \quad (2)$$

welche Formel für sehr lange Kernleiter in die folgende einfachere übergeht:

$$v = V e^{-x\sqrt{h}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

wo V das Potential der benachbarten Stromelektrode, v das in der Entfernung x entstandene Potential bedeutet.

Letztere Formel stimmt wieder mit der von Weber aus der Theorie Hermann's (Handbuch Bd. 2 S. 183) abgeleiteten Formel überein.

Sie stimmt auch mit der Erfahrung, denn als ich bei einem Kernleiter wie in Versuch X unter Anwendung sehr grosser Widerstände schnell nach einander die Ablenkungen des Galvanometers in 3 verschiedenen Entfernungen von der Stromquelle ablas, erhielt ich folgende Zahlen:

								Berechnet nach Formel 3:
in	4,2 cm	Entf.	eine	Abl.	von	6,3	cm	6,33
„	5,5 „	„	„	„	„	3,9	„	3,82
„	22,0 „	„	„	„	„	1,0	„	1.

(Aus dem physiologischen Institute der Wiener Universität.)

Ueber den äusseren Ast des Nervus accessorius Willisii.

Von

Dr. **Maximilian Sternberg**,
Privatdocent für interne Medicin in Wien.

(Mit 1 Textfigur.)

Die älteren Physiologen haben sich ziemlich viel mit dem Nervus accessorius beschäftigt. Einerseits waren es seine Beziehungen zum Vagus und damit zu den lebenswichtigsten Organen, welche die Aufmerksamkeit auf sich zogen und die allgemein bekannte Reihe bedeutender Untersuchungen anregten, die mit Bischoff beginnt und bis auf den heutigen Tag reicht. Andererseits erregte auch der sonderbare Verlauf des Nerven durch Wirbelkanal und Schädelhöhle, sowie die Thatsache, dass sein sogenannter äusserer Ast gemeinsam mit echten Rückenmarksnerven sich in zwei Muskeln des Rumpfes ausbreitet, das Interesse der Forscher in hohem Grade.

Die Anatomie des äusseren Accessoriusastes beim Menschen, seine Verbindungen mit dem Plexus der Cervicalnerven, seine Verzweigungen im Musculus sternocleidomastoideus und im Musculus trapezius hatte die Arbeit von Scarpa[1]) am Ende des 18. Jahrhunderts mit der grössten Genauigkeit und in erschöpfender Weise behandelt. Sache der Experimentalphysiologen war es nun, durch Beobachtung der Bewegungen, durch Reiz- und Durchschneidungsversuche die Wirkung dieser beiden Muskeln aufzuklären, die Beziehungen der Nerven zu ihnen und insbesondere die Beziehungen des Accessorius zu den Cervicalnerven zu ermitteln.

1) A. Scarpa, Abhandlung über den zum achten Paar der Gehirnnerven hinlaufenden Beynerven der Rückgräte. Abhandlung der röm. kaiserl. königl. Josephinischen medicinisch-chirurgischen Akademie zu Wien Bd. 1 S. 385. 1787.

Diese anscheinend ganz einfache Aufgabe ist bis heute nicht befriedigend gelöst, obgleich eine reiche Literatur über den Gegenstand vorhanden ist, welche die glänzendsten Namen der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts aufweist.

Der Grund hiervon liegt in dem Entwickelungsgange der Physiologie. Die experimentelle Untersuchung des äusseren Accessoriusastes fällt nämlich in jene Zeit, da man sich den grossen Problemen der vorderen und hinteren Rückenmarkwurzeln, der motorischen und sensorischen Nerven, der reflectorischen und der willkürlichen Bewegungen gewidmet hatte. Unser Nerv, dessen Ursprungsbündel zwischen den vorderen und den hinteren Wurzeln das Rückenmark verlassen, der Muskeln versorgt, welche den willkürlichen Bewegungen und den Athembewegungen dienen, wurde daher sofort in die Discussion eingezogen, noch ehe die Grundthatsachen über seine Functionen experimentell festgestellt waren. Damit war die Fragestellung auf ein anderes Gebiet verschoben und unnöthig complicirt. Der Widerstreit der Theorieen machte die Sache immer verwickelter, bis die Untersuchung schliesslich einfach aufgegeben worden ist.

Die ersten Beobachtungen und Versuche[1]) stellte Charles Bell[2]) an. Wir müssen diese etwas eingehender besprechen, weil wir damit sofort die Quellen der Missverständnisse aufdecken werden, welche dem grössten Theil der späteren Arbeiten anhaften.

Charles Bell ging von der folgenden Beobachtung aus. Er sah, dass bei einem Manne mit einer alten halbseitigen Lähmung bei tiefen Athemzügen beide Schultern sich gleichzeitig hoben, während

---

1) Eigentlich hat zuerst Arnemann eine experimentelle Durchschneidung des äusseren Accessoriusastes vorgenommen. Doch wurden nur die degenerativen Veränderungen im Nerven untersucht, und das mit ganz ungenügenden Hülfsmitteln, sonst hätte er wohl das Waller'sche Gesetz entdeckt. — J. Arnemann, Versuche über die Regeneration an lebenden Thieren. Göttingen 1787 Bd. 1 S. 75 (achtundsiebzigster Versuch).

2) Ch. Bell, On the nerves which associate the muscles of the chest, in action of breathing, speaking and expression. Read before the Royal Society. May 2, 1822. — Abgedruckt in: Phil. Transact. 1822. I. p. 292. — Mit Zusätzen in der englischen und der deutschen Gesammtausgabe seiner Abhandlungen enthalten. Nach der letzteren — Ch. Bell, übersetzt von M. H. Romberg, Physiologische und pathologische Untersuchungen des Nervensystems. Berlin 1836 — ist im Texte citirt.

der Kranke die Schulter der gelähmten Seite nicht willkürlich heben konnte. Die Beobachtung ist richtig, man kann sie in vielen (nicht in allen) Fällen von alter Hemiplegie beim Menschen machen.

Bell zog nun daraus folgenden Schluss: „Obschon das regelmässige Nervensystem seinen Einfluss eingebüsst hatte, übernahmen der Musc. sternocleidomastoideus und trapezius ihren Antheil im Act des Athemholens. Da demnach der Musc. sternocleidomastoideus eine doppelte Garnitur von Nerven besitzt, berechtigt uns dieses nicht zu folgern, dass die Bewegung des Kopfes, welche eine willkürliche ist, durch die Classe der willkürlichen Nerven vermittelt wird, dahingegen das Heben der Brust, welches ein respiratorischer Act ist, durch jene Nerven, welche die Muskeln beim Athemholen regieren?" Zu der „Classe der willkürlichen Nerven" gehören nach Bell die Spinalnerven, der Accessorius dagegen ist „der obere Athemnerv des Rumpfes", wie der Verfasser vorher aus anatomischen Gründen folgert.

Mit unseren heutigen Kenntnissen ist es natürlich ein Leichtes, die Kette von Trugschlüssen aufzulösen, welche in diesen kurzen Worten enthalten ist. Es wird aber aus den oben genannten Gründen nicht überflüssig sein, Bell's Schlussfolgerung, die uns heute naiv erscheint, im Einzelnen zu erörtern, um so mehr, als wir dabei die Gelegenheit gewinnen, die Fragen, auf die es bei dem Gegenstande ankommt, zu präcisiren.

Zunächst ist von Wichtigkeit, dass Bell annimmt, es seien bei der Erhebung der Schulter, die im Verlaufe eines tiefen Athemzuges eintritt, Sternocleidomastoideus und Trapezius in gleicher Weise betheiligt, wie bei der willkürlichen Erhebung der Schulter. Man hat seitdem durch die mühsamen Untersuchungen Duchenne's[1]) den Antheil der genannten Muskeln an den beiden Bewegungen sehr genau kennen gelernt.

An der tiefen Inspiration wirken der Sternocleidomastoideus und ein kleiner, ganz bestimmter Theil des Trapezius mit, nämlich jene Portion, welche sich an der Clavicula anheftet, und zwar durch Zug am Sternum und an der Clavicula. Das Schulterblatt wird hierbei passiv mitgeschleppt.

---

1) G. B. Duchenne, übers. von C. Wernicke, Physiologie der Bewegungen nach elektrischen Versuchen und klinischen Beobachtungen S. 2 und S. 527. Cassel und Berlin 1885.

Bei der willkürlichen Erhebung der Schulter treten dagegen zum grössten Theile ganz andere Muskeln in Action. Von den zwei Muskeln, die uns speciell interessiren, ist der Sternocleidomastoideus gar nicht daran betheiligt. Beim Trapezius ist die Sache ein wenig complicirt, indem man vier functionell verschiedene Bündel unterscheiden muss. Die Clavicularportion, welche bei der tiefen Inspiration wirkt, hebt zugleich die Scapula, aber nur wenig. Sehr stark hebend wirkt jener Theil des Trapezius, welcher sich am Acromion und der äusseren Hälfte der Spina scapulae anheftet. Dagegen wirken jene Bündel, welche sich an der inneren Hälfte der Spina scapulae anheften, äusserst wenig hebend, sie ziehen dafür das Schulterblatt an die Mittellinie des Körpers. Die untere Partie des Trapezius endlich wirkt nicht nur nicht hebend, sondern zieht die Scapula kräftig nieder.

Die willkürliche Erhebung der Schulter und die Erhebung der Schulter bei einer tiefen Inspiration sind also Bewegungen, die in Bezug auf die Betheiligung der Muskeln gar nicht ohne Weiteres vergleichbar sind. Nur eine einzige Muskelpartie ist bei beiden Bewegungen betheiligt, die Clavicularportion des Trapezius.

Die Beobachtung Bell's wäre somit richtig so zu formuliren: „Bei gewissen Fällen alter Hemiplegie bleibt die Clavicularportion des Trapezius von der Lähmung insofern verschont[1]), dass sie sich bei tiefer Inspiration als wirksam erweist, während der Hemiplegiker in der Absicht, die Schulter zu erheben, dieselbe Clavicularportion, welche dies zu leisten im Stande wäre, nicht contrahirt."

Es handelt sich nun darum, wie diese Erscheinung zu deuten sei. Heute würden wir uns zuerst die Frage vorlegen, ob die Ursache ihren Sitz im centralen oder im peripheren Nervensystem habe. Unsere nächste Vermuthung wäre wohl die, dass ein directer Faserzug von der Hirnrinde zum Kerne der Clavicularportion des Trapezius ausser Thätigkeit gesetzt sei, während die Verbindung zwischen Kern und Respirationscentren unversehrt geblieben wäre. Erst wenn erwiesen wäre, dass die centralen Verbindungen nichts mit der Sache zu thun haben, käme die periphere Innervation des Muskels in Betracht.

---

1) Ich gehe hier auf die klinischen Fragen nicht weiter ein. Siehe hierüber C. Wernicke, Zur Kenntniss der cerebralen Hemiplegie. Berl. klin. Wochenschr. S. 969. 1889.

Bell konnte natürlich nicht die Vorgänge im centralen Nervensystem in Rechnung ziehen, weil man damals von ihnen nichts wusste, und nahm daher ohne Weiteres an, dass die Ursache des Phänomens in der Anordnung der peripheren Nervenverbindung gelegen sei.

Nun kommt ein neues Dilemma, das zu entscheiden ist. Stellen wir uns einmal mit Bell auf den Standpunkt, dass die Ursache jenes eigenthümlichen Verhaltens der Clavicularportion des Trapezius in der peripheren Nervenverbindung gelegen sei, so ergeben sich zwei Möglichkeiten. Entweder besorgen die Cervicalnerven die willkürliche und der Accessorius die respiratorische Innervation, oder es ist umgekehrt. Die Beobachtung Bell's, als isolirtes Factum, lässt beide Möglichkeiten als gleichwerthig zu. Bell entschied sich nun, von der Betrachtung der Rückenmarksursprünge dieser Nerven ausgehend, für die erstere. Wir werden alsbald sehen, dass Claude Bernard, auf ähnliche Voraussetzungen gestützt, die zweite Möglichkeit acceptirte.

Wir kommen endlich zu der Auffassung von der doppelten peripheren Innervation. Bell stellte sich vor, dass die motorischen Impulse dem doppelt innervirten Muskel als Ganzem abwechselnd durch die Cervicalnerven oder den Accessorius zugeleitet werden können. Diese Auffassung war früher allgemein herrschend, sie findet sich bei Allen, die später experimentell über unsere Muskeln gearbeitet haben. Heute wissen wir aber durch die Untersuchungen von Gad[1]) und von Sherrington[2]), dass die Sache sich ganz anders verhalten muss. Die allermeisten Muskelnerven setzen sich aus mehreren Rückenmarkswurzeln zusammen. Wird nur eine dieser Wurzeln gereizt, so wird nur ein Theil des Muskels, eben jene Muskelfasern, in welchen die Nervenfasern der betreffenden Wurzel endigen, contrahirt. Die Muskelfasern, welche verschiedenen Wurzeln zugehören, sind aber gleichmässig über den ganzen Querschnitt vertheilt. So kommt es, dass die partielle Contraction auf Reizung einer Wurzel scheinbar wie eine geringere Contraction des ganzen Muskels aussieht, und dass scheinbar derselbe Muskel von verschiedenen Wurzeln aus als Ganzes zur Contraction ver-

1) J. Gad, Ueber einige Beziehungen zwischen Nerv, Muskel und Centrum. Festschrift zur Feier des 300-jährigen Bestehens der Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg. Leipzig 1882.

2) Ch. S. Sherrington, Notes on the arrangement of some motor fibres in the lumbosacral plexus. The Journ. of Physiology Vol. 13 p. 708.

anlasst werden kann[1]). Da diese Grundthatsache unbekannt war, musste die Auffassung und Fragestellung Bell's, ebenso wie später die von Claude Bernard und Longet nothwendiger Weise schon im Principe unrichtig sein.

Der Versuch Bell's, aus der klinischen Beobachtung die Function des Accessorius und die doppelte Innervation des Sternocleidomastoideus und Trapezius zu erklären, musste nothwendig scheitern, weil zu seiner Zeit drei grosse Gruppen von Thatsachen unbekannt waren, welche zur Analyse der Beobachtung erforderlich sind. Der geniale Forscher war eben von einer Beobachtung ausgegangen, in deren Beschreibung sozusagen jedes Wort ein Problem enthält, einer Beobachtung, die wir auch heute noch nicht vollständig erklären können, weil uns der centrale Mechanismus der willkürlich vertieften Inspiration unbekannt ist.

Bell stellte, von seiner Theorie geleitet, einige Thierversuche an, in welchen er den entgegengesetzten Zustand, wie in der eben kritisirten klinischen Beobachtung, herzustellen bestrebt war. Ein Esel wurde mittels Durchschneidung der Phrenici und Zuhalten der Nasenlöcher gezwungen, mit den Halsmuskeln zu inspiriren. Man überzeugte sich, dass Sternomaxillaris und Sternovertebralis — welche dem Sternocleidomastoideus des Menschen homolog sind — sich beiderseits gleich stark contrahirten, und schnitt nun den einen Accessorius durch. Bell sah, dass die Muskeln der operirten Seite während der Athmung erschlafft blieben, „bis sie das Thier als willkürliche Muskeln in Bewegung setzte". Wir werden aus dem folgenden sehen, dass hier ein Beobachtungsfehler unterlaufen sein muss.

Bischoff[2]) hat in seiner berühmten Dissertation über den Accessorius sich wenig mit dem äusseren Aste beschäftigt. Nur ein Versuch ist für uns erwähnenswerth, in welchem der Accessorius unter der Membrana atlanto-occipitalis durchschnitten wurde (Hund). Die Contraction des Sternocleidomastoideus und Trapezius war deutlich, wenn das Thier durch Zuhalten des Mundes in Dyspnoë versetzt

1) Bekanntlich haben die genannten Forscher, insbesondere Gad, durch den Nachweis, dass die Ermüdung des Muskels bei Reizung einer Wurzel nur partiell ist, den Beweis für die vorgetragene Auffassung in aller Strenge erbracht.

2) L. W. Th. Bischoff, Nervi accessorii Willisii anatomia et physiologia. Dissert. inaug. Heidelbergae MDCCCXXXII. S. 90.

worden war. Die Section ergab, dass die Wurzelbündel, die oberhalb des 1. Cervicalis entspringen, unversehrt geblieben waren.

Magendie[1]) durchschnitt bei Kaninchen und Ziegen den Accessorius gleichfalls unter der Membrana atlanto-occipitalis. Er beschreibt genau die Störung in den Gehbewegungen (also im Gegensatze zu Bell), welche durch die theilweise Lähmung der Schultermuskeln veranlasst wird.

Valentin[2]) beobachtete nach Durchschneidung des äusseren Accessoriusastes bei Kaninchen abdominale Respiration und stellte fest, dass der Nerv auch sensorische Fasern enthält, indem seine Reizung Schmerz erregt.

Volkmann[3]) reizte bei frisch getödteten Thieren (Katze, Hund, Kalb, Ziege, Kaninchen) den Accessorius in der Schädelhöhle galvanisch und stellte fest, dass stets und nur Sternocleidomastoideus und Trapezius zucken. Von ersterem reagieren beide Theile, „sowohl die Partie desselben, welche zum Hinterkopfe geht, als auch die zweite, welche bei vielen Thieren sich zum Unterkiefer begibt“.

Van Kempen[4]) führte die gleichen Versuche aus, konnte aber wegen seiner Präparationsmethode, bei welcher er den Trapezius stets durchgeschnitten hatte, nur Zuckungen im Sternocleidomastoideus sehen.

Eingehend hat sich Claude Bernard[5]) in einer Monographie mit dem Accessorius beschäftigt. Er hat die anatomischen Verhält-

---

1) M. Magendie, Leçons sur les fonctions et les maladies du système nerveux p. 298. Paris 1839.

2) G. Valentin, De functionibus nervorum cerebralium et nervi sympathici libri quattuor p. 59. Bernae et Sangalli 1839.

3) A. W. Volkmann, Ueber die motorischen Wirkungen der Kopf- und Halsnerven. Müller's Archiv f. Anatomie, Physiologie und wissensch. Medicin S. 475. 1840.

4) Van Kempen, Essai sur la nature fonctionelle du nerf pneumogastrique, précédé de considérations sur les mouvements réflexes. Louvain 1842.

5) Cl. Bernard, Recherches expérimentales sur les fonctions du nerf spinal étudié spécialement dans ses rapports avec le pneumogastrique. Archives génèr. de médecine T. 4 p. 397, T. 5 p. 51. Paris 1844. — Wörtlich abgedruckt unter dem Titel: Recherches expérimentales sur les fonctions du nerf spinal ou accessoire de Willis. Mémoires présentés par divers savants étrangers à l'Académie des Sciences T. 11 p. 693. Paris 1851. — Etwas gekürzt in: Leçons sur la physiologie et la pathologie du système nerveux T. 2 p. 244. Paris 1858.

nisse des Wurzelgebiets, soweit sie durch Präparation ohne Zuhülfenahme des Mikroskops untersucht werden können, klargelegt. Alle späteren sorgfältigen Arbeiten haben seine Ergebnisse in diesem Punkte bestätigt[1]). Anders verhält es sich mit seinen experimentellen Untersuchungen über die Function des Nerven. Bernard hat bekanntlich in dieser Monographie die Meinung vertreten, dass der Kehlkopf eine doppelte, functionell verschiedene, motorische Nervenversorgung besitze, den Accessorius für die Stimmbildung, den Vagus für die Respiration. Es sollte sich nicht um verschiedene Muskeln handeln, sondern jeder von den Kehlkopfmuskeln in gleichem Maasse beiden Einflüssen unterworfen sein. Diese, längst widerlegte, Annahme veranlasste ihn zu einer analogen Vorstellung über die doppelte Innervation des Sternocleidomastoideus und Trapezius.

Die Ausreissung des ganzen Accessorius nach der Bernard'schen Methode oder die Durchschneidung des äusseren Astes knapp nach seinem Austritte aus der Schädelhöhle erzeugt drei Störungen: Abnahme der Kraft der Stimme, Kurzathmigkeit und bei jenen Thieren, welche keine Clavicula besitzen, Behinderung in den Bewegungen der vorderen Extremitäten (Versuche an Hunden, Katzen, Pferden, Kaninchen etc.). Das Zustandekommen dieser Störungen erklärt nun Bernard in geistreicher Weise aus Ueberlegungen über die Function dieser Muskeln am Menschen. Es gäbe zwei Arten von Expiration, die respiratorische und die vocale. Zur letzteren sind Sternocleidomastoideus und Trapezius nöthig, wie man insbesondere beim Singen merkt. Diese fixiren nämlich den Thorax, so dass die Expirationskraft der Bauchmuskeln kräftig eingreifen kann. In diesem Sinne sind die vom Accessorius versorgten Muskeln „Antagonisten der Athembewegungen". In gleicher Weise sind sie als „Muskeln der Anstrengung" thätig, um die Athmung zu hemmen; denn die Grundlage einer jeden Anstrengung ist Suspension der Athembewegungen. Aehnliche Betrachtungen lassen sich über die Muskeln der Thiere anstellen, welche den genannten Muskeln des Menschen homolog sind.

Im Gegensatze zu der Meinung Bell's werden aber durch die

---

1) Siehe die neueste Bearbeitung des Gegenstandes bei A. Kreidl, Experimentelle Untersuchungen über das Wurzelgebiet des Nervus glossopharyngeus, Vagus und Accessorius beim Affen. Sitz.-Ber. der kais. Akad. d. Wissensch. in Wien Bd. 106 Abth. 3 S. 197. 1897.

Ausschaltung des Accessorius Bewegungen geschädigt, welche nicht unwillkürlich-respiratorischer, sondern ausgesprochen willkürlicher Art sind.

Es lässt sich nun nach Bernard zeigen, dass Sternocleidomastoideus und Trapezius trotzdem nicht ganz gelähmt sind. Einem Hunde oder einer Katze legt man die Sternomastoidei bloss. Diese Muskeln contrahiren sich, wenn das Thier schreit, oder wenn die Trachea zusammengedrückt wird. Durchschneidet man nun den einen Accessorius in der Schädelhöhle, so hört die Contraction des zugehörigen Sternomastoideus beim Schreien auf, tritt dagegen bei der Compression der Trachea noch ein. Man soll zu diesem Versuche den Accessorius in der Schädelhöhle durchschneiden, damit man sicher keine Fäden vom Cervicalplexus, die zu den Muskeln gehen, verletze, denn die Innervation bei diesem Versuche rühre offenbar von ihnen her[1]).

Bernard schliesst aus alledem, dass Sternocleidomastoideus und Trapezius zwei verschiedene Functionen und dementsprechend zwei verschiedene Innervationen besitzen: 1. können sie als Inspirationsmuskeln wirken, dann werden sie von dem Cervicalplexus versorgt, 2. können sie als Antagonisten der Respiration zum Zwecke der Phonation oder der Anstrengung wirken, dann werden sie vom Accessorius innervirt. Fasst man diese Function des Accessorius mit der beim Kehlkopfe zusammen, so sei der ganze Accessorius der Nerv der „complexen Respiration“, während Vagus und Cervicalnerven der „einfachen Respiration“ vorstehen.

Man sieht sofort, dass auf Bernard's Deduction dieselbe Kritik anwendbar ist, wie auf die Bell's. Auch hier werden Sternocleidomastoideus und Trapezius ohne weitere Prüfung als eine functionell einheitliche Muskelmasse aufgefasst, die Eigenschaften des Sternocleidomastoideus am Menschen durch Selbstbeobachtung bestimmt und auf beide Muskeln von Thier und Mensch übertragen. Dass der Cervicalplexus die Innervation des Sternomastoideus bei der tiefen Inspiration besorgt, wird durch das zuletzt angeführte Experiment nicht eigentlich bewiesen; denn es wird ja schon vorausgesetzt, dass jene Nervenfasern im Cervicalplexus verlaufen. Das ist aber gerade

---

1) „Il est préférable de couper les origines de la branche externe dans le crâne, pour ne pas tirailler les sternomastoïdiens et être certain qu'on n'a pas lésé les filets du plexus cervical qui se rendent à ces muscles.“

das, was der Versuch zeigen soll, der im Uebrigen mit dem oben citirten von Bischoff identisch ist. Leider gibt Bernard nichts über den Sectionsbefund an, lässt nur zwischen den Zeilen lesen, dass das Experiment nicht gelingt, wenn man den Accessorius ausserhalb der Schädelhöhle durchschneidet, und begnügt sich mit einem so unbestimmten Hinweise auf die Fädchen der Cervicalnerven, anstatt auf Grund seiner eigenen anatomischen Untersuchung genau festzustellen, welche Nervenäste hierbei in Betracht kommen. Der Grund hiervon liegt wohl darin, dass die Präparationsmethode Bernard's, welche er zur Ausreissung des Accessorius verwendete, für diesen Versuch ungeeignet war. Er suchte nämlich den Nerven vom hinteren Rande des Sternocleidomastoideus aus auf. Von da muss dann unter dem abgehobenen Muskel bis zur Schädelbasis hinauf präparirt werden, was allerdings für den Muskel selbst und die zu ihm ziehenden Nervenfäden gefährlich ist.

Fast zwanzig Jahre später untersuchte Chauveau[1]) den Accessorius, indem er systematisch das Wurzelgebiet der Vagus und Accessorius reizte. Er gibt an, dass es manchmal recht schwierig ist, durch die blosse Betrachtung die einzelnen Wurzelbündel zu unterscheiden. Nur die elektrische oder mechanische Reizung vermag dies. Die obersten spinalen Wurzelfasern versorgen den Sternomastoideus.

Van Kempen[2]) wiederholte seine Versuche und stellte neuerlich fest, dass die unterhalb der Medulla oblongata entspringenden Wurzelbündel zum Sternocleidomastoideus und Trapezius gehen.

Longet hatte schon früher[3]) Versuche mit intracranieller Durchschneidung des Accessorius veröffentlicht, welche das gleiche Ergebniss wie die von Bischoff und Bernard zeigten. In seinem Handbuche der Physiologie[4]) erklärt er sich, nachdem er die That-

1) A. Chauveau, Du nerf pneumogastrique considéré comme agent excitateur et comme agent coordinateur des contractions œsophagiennes dans l'acte de la deglutition. Journal de la Physiologie de l'homme et des animaux T. 5 p. 190. Paris 1862.

2) E. M. van Kempen, Nouvelles recherches sur la nature fonctionelle des racines du nerf pneumogastrique et du spinal. Mémoires de l'Académie roy. de médecine de Belgique 1863. — Abgedruckt in: Journal de la Physiologie etc. T. 6 p. 284. Paris 1863.

3) F. A. Longet, Recherches expérimentales sur les fonctions des nerfs des muscles du larynx. Paris 1841.

4) F. A. Longet, Traité de Physiologie T. 3 S. 588. Paris 1869.

sachen erörtert hat, mit der Theorie Bernard's nicht einverstanden, die ebensowenig für den äusseren wie für den inneren Ast des Accessorius gelte: „Je suis loin de regarder aussi comme un fait démontré que la branche externe du spinal soit étrangère aux mouvements volontaires de la tête, et que la contraction des muscles sterno-mastoïdien et trapèze, propre à réduire de mouvements, soit sous la dépendance exclusive des rameaux du plexus cervical .... Considérant l'agent nerveux comme identique dans tous les nerfs moteurs, je crois qu'il peut se répartir dans les muscles indistinctement à l'aide de toutes le ramifications des nerfs moteurs qui s'y rendent." Es wird also sowohl Bell's als Bernard's Annahme verworfen, ohne dass etwas Besseres an ihre Stelle gesetzt wurde. Das war auch in der That nicht möglich, da Longet, wie die citirte Stelle zeigt, von der alten Vorstellung über die doppelte Innervation ausging.

Auch Eckhard[1]) kommt in seiner zusammenfassenden Darstellung der Physiologie unseres Nerven über diese Schwierigkeit nicht hinaus. Er hält übrigens den Beweis für die Bernard'sche Lehre vom Accessorius als dem Nerven der „complexen Respiration" nicht für vollständig erbracht: „es müssten erst noch genauer die Defecte der complexen Respiration nach Trennung des R. ext. accessorii mit denen verglichen werden, die man nach einer solchen der Cervicalzweige etwa beobachtet".

Auf diesem unbefriedigenden Standpunkte findet man die Frage in den Handbüchern und der Literatur noch heute. Nun ist es aber für die Klinik der Erkrankungen des menschlichen Nervensystems ein Bedürfniss, darüber Klarheit zu gewinnen. Denn nicht nur bei Hirnleiden, wie in der Eingangs angeführten Beobachtung von Charles Bell, sondern auch, und noch häufiger, bei Erkrankungen des Rückenmarkes, der Nerven und der Muskeln kommt theilweise oder gänzliche Lähmung und Atrophie von Sternocleidomastoideus und Trapezius vor. Während aber sonst isolirte Schädigung eines Muskels zu den werthvollsten Hülfsmitteln gehört, um Sitz und Art der Erkrankung zu bestimmen — was z. B. bei Rückenmarksgeschwülsten durch die Möglichkeit einer chirurgischen Behandlung von der aller-

1) C. Eckhard, Geschichte der Experimentalphysiologie des Nervus accessorius Willisii. Beiträge zur Anatomie und Physiologie Bd. 10 S. 173. Giessen 1883.

grössten praktischen Wichtigkeit ist —, tappen wir hier gänzlich im Dunkeln. Man hat desshalb von klinischer Seite sich bemüht, aus Krankenbeobachtungen Aufklärungen über die Innervation dieser beiden Muskeln zu erhalten. Da jedoch keine Sectionsbefunde vorliegen, sind diese Versuche nur von geringem Erfolge gewesen, sie haben sogar eher dazu beigetragen, die Frage abermals zu verwirren [1]).

Nicht citirt in der Literatur über diesen Gegenstand, wohl wegen ihres etwas absonderlichen Titels, ist eine kleine Arbeit von Chauveau [2]), welche auch mir erst nach Beendigung meiner Versuche bekannt geworden ist. Chauveau hat die Innervation des M. sternomaxillaris beim Pferde mit den Hülfsmitteln unserer jetzigen Technik untersucht, desselben Muskels, auf den sich die Versuche von Bell und von Bernard beziehen. Der Muskel hat zwei getrennte Nerven, der eine ist ein Zweig des zweiten Cervicalis, der andere ein Ast des Accessorius. Die mystische doppelte Innervation erklärt sich sehr einfach: der Cervicalast ist rein sensibel, der Accessoriusast rein motorisch. Beim Esel ist die Innervation ein wenig complicirter, hier bekommt der Muskel noch einen sensibeln Ast vom ersten Cervicalis. Nach Durchschneidung des sensibeln Nerven entwickelte sich (47 Tage später) eine ausgesprochene Ernährungsstörung im Muskel. Diese Arbeit ist thatsächlich die erste, welche in das Räthsel der doppelten Innervation der vom Accessorius versorgten Muskeln Licht gebracht hat.

Mich veranlassten klinische Beobachtungen, welche an einem anderen Orte besprochen werden sollen, mich über das Verbreitungsgebiet des äusseren Accessoriusastes zu informiren. Ich wählte daher als Versuchsthiere Affen (Macacus rhesus), da die anatomischen Verhältnisse bei ihnen denen des Menschen doch am nächsten stehen. Die Untersuchungen wurden im Winter 1896—97 ausgeführt.

---

1) Eine ausführliche Darstellung der klinischen Untersuchungen gibt M. Bernhardt, Die Erkrankungen der peripherischen Nerven, in: Specielle Pathologie und Therapie herausg. von H. Nothnagel. Bd. 11 Theil 1 S. 256. Wien 1895.

2) M. A. Chauveau, On the sensorimotor nerve-circuit of muscles p. 145. Brain 1892 — gleichzeitig französisch erschienen unter dem Titel: Sur le circuit nerveux sensitivo-moteurs des muscles. Mémoires de la Société de Biologie p. 155. Paris 1891.

Die Arbeit zerfiel naturgemäss in zwei Theile, die Untersuchung der Innervation an den Wurzelbündeln der Medulla oblongata und des Rückenmarkes, und an den Verzweigungen des Accessorius und der Cervicalnerven ausserhalb der Rückenmarks- und Schädelhöhle.

Die Reizungen und Durchschneidungen der Wurzeln wurden nach der Methodik, die sich im hiesigen physiologischen Institute bei einer Reihe von Untersuchungen über den Wurzelfächer des neunten bis elften Gehirnnerven bewährt hatte[1]), vorgenommen. Ich bin insbesondere Herrn Dr. Alois Kreidl zu Dank verpflichtet, welcher mich an seinen diesbezüglichen Versuchen an Affen theilnehmen liess und meine Experimente durch seine Erfahrung unterstützte.

Die Abtastung der Wurzelbündel mit der Elektrode zeigte in Uebereinstimmung mit den schon von Kreidl[2]) mitgetheilten Ergebnissen, dass die Fasern des sogenannten „unteren Wurzelbündels" zum Sternocleidomastoideus und Trapezius ziehen. Es ist das jener Antheil des Wurzelfächers der neunten bis elften Gehirnnerven, dessen oberste Faser ein Stück über dem ersten Cervicalnerven, in der Höhe des Austrittes des Nervus hypoglossus aus der Schädelhöhle, etwa 2—3 mm unter der Spitze des Calamus scriptorius das Centralnervensystem verlässt. Die Lage stimmt mit der von Grabower[3]) festgestellten oberen Grenze des Accessoriuskernes gut überein. Je nachdem, wo man die Grenze zwischen Medulla oblongata und Rückenmark ziehen will, kann man diese Fasern als die untersten bulbären oder die obersten spinalen Wurzeln des Accessorius bezeichnen.

Tastete man die einzelnen Wurzelfäserchen des Accessorius bis ins Halsmark hinunter ab, so ergab sich, dass die oberen vorwiegend den Sternocleidomastoideus, die unterhalb des zweiten bis dritten Cervicalnerven gelegenen ausschliesslich den Trapezius zur Zuckung brachten. Es sind also die Fasern annähernd, wenn auch nicht vollständig, nach den Muskelansätzen segmentär geordnet.

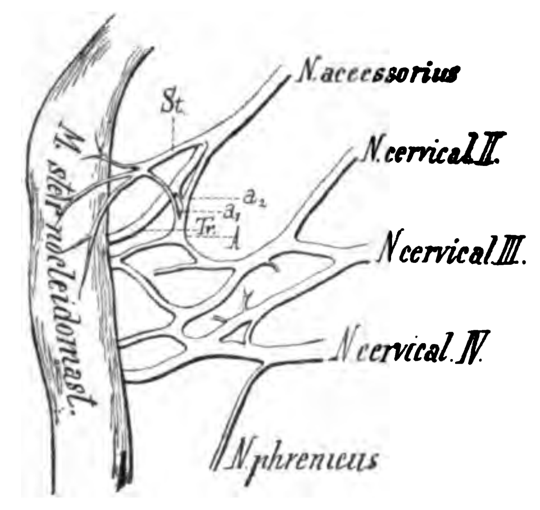
Nun wurde der Accessorius nach dem Eintritte des unteren Wurzelbündels durchgeschnitten, rasch ein Querschnitt durch die Medulla oblongata oberhalb des Ursprunges angelegt und der Quer-

1) Kreidl, l. c. S. 221.

2) Kreidl, l. c. S. 233.

3) H. Grabower, Ueber die Kerne und Wurzeln des N. accessorius und N. vagus und deren gegenseitige Beziehungen. Archiv für Laryngologie Bd. 2 S. 143. 1895.

schnitt am verendenden Thier mit entsprechenden Elektroden gereizt. Niemals gelang es auf diese Art, eine Zuckung im Sternocleidomastoideus zu erzeugen, obgleich sich bei geeigneten Stromstärken alle übrigen Halsmuskeln zusammenzogen. Steigerte man die Stromstärke noch mehr, so erhielt man allerdings Zuckung; diese trat aber in gleicher Weise auf, wenn man einen zweiten Querschnitt unterhalb des ersten anlegte und den ersten reizte, ebenso noch deutlicher, wenn man die Schädelknochen berührte, war also offenkundig durch Stromschleifen auf den peripheren Stumpf des Accessorius hervorgerufen. Ebensowenig war es möglich, durch Reizung der vorderen



Der Plexus des Accessorius und der oberen Cervicalnerven bei Macacus rhesus (halbschematisch). Der Sternocleidomastoideus ist abgezogen, so dass man seine innere Fläche sieht. Zeichenerklärung im Texte.

Wurzel eines Cervicalnerven im Rückenmarkskanal eine Zuckung im Sternocleidomastoideus zu erzielen, nachdem der Accessorius an der beschriebenen Stelle durchschnitten war.

Der Sternocleidomastoideus wird also nur vom Accessorius motorisch innervirt. Bezüglich des Trapezius war bei diesen Versuchen keine volle Klarheit zu gewinnen, weil der Muskel bei der Freilegung der Medulla oblongata und des Cervicalmarkes nothwendigerweise vom Ursprunge abgelöst und beschädigt werden musste.

Die Anatomie des peripheren Antheils des Accessorius beim Affen ist aus der Abbildung zu ersehen. Der Nerv tritt aus dem Foramen lacerum aus und theilt sich in zwei Aeste, einen kurzen

(*St*) für den Sternocleidomastoideus und einen langen (*Tr*) für den Trapezius. Im Bereiche dieser Theilung bildet er mit dem Cervicalplexus, vorwiegend mit Fasern des zweiten Cervicalis, ein kleines Geflecht. Der hauptsächlichste und constante Theil derselben ist eine bogenförmige Anastomose (*A*). Von ihr geht meist ein Faden (a_2) in den Stamm des Accessorius unmittelbar an der Theilungsstelle in die beiden Aeste und ein feinerer (a_1) noch besonders in den Ast für den Sternocleidomastoideus ein. Nicht immer darstellbar ist ein feines Fädchen, das von dem Faden a_2 zum Aste für den Trapezius (*Tr*) abzweigt (in der Abbildung deutlich). Dieser Ast zieht unter dem Sternocleidomastoideus durch und bildet vor dem Eintritte in den Muskel ein neues, sehr verwickeltes Geflecht mit den Cervicalnerven.

Um dieses Gebiet zu Reiz- und Durchschneidungsversuchen freizulegen, geht man am vorderen Rande des Sternocleidomastoideus ein. Die Parotis wird zurückpräparirt, einige Lymphdrüsen ausgeschält und das sie umgebende Fett entfernt. Alsdann bekommt man das Nervengeflecht zu Gesichte, in welchem man sich leicht zurechtfindet. Bei der Präparation werden nur ganz oberflächliche Hautnerven — Aeste des N. auricularis major — durchschnitten, welche in keinerlei Beziehung zu unseren Muskeln stehen.

Am narkotisirten Thiere (Aether-Morphinnarkose) überzeugt man sich nun leicht, dass der Ast *St* des Accessorius der einzige Nerv ist, welcher dem M. sternocleidomastoideus motorische Fasern zuführt. Nur von diesem Nerven aus lässt sich Zuckung erzeugen. Wird der Nerv durchgeschnitten, so bleibt die Reizung der Medulla und des Rückenmarkes wie in den oben berichteten Versuchen erfolglos, ebenso auch die Reizung der Anastomosen, die der Accessorius vom Cervicalplexus erhält, sowohl des Stammes *A* wie der Fäden a_1 und a_2.

Was ist nun die Function dieser Anastomose? Am narkotisirten Thiere war auf Reizung derselben keinerlei motorische Reaction zu erzielen. Da sie möglicher Weise sensible Fasern enthalten konnte, wurden zunächst Reizversuche am nicht narkotisirten Thiere angestellt. Es gelang jedoch nicht, dabei ein unzweideutiges Ergebniss zu erhalten. Nach verschiedenen Versuchen erhielt ich einen passenden Grad von Reflexerregbarkeit bei tiefer Narkose, indem eine kleine Menge von Strychninlösung unter die Haut injicirt und durch Aetherinhalation das Auftreten von Streckkrämpfen verhindert wurde. Jetzt sprachen die sensibeln Nerven leicht an. Es zeigte sich nun, dass die Anastomose *A* sich wie ein sensibler Nerv verhält.

Ihre Durchschneidung wird mit einer Zuckung der Halsmuskeln [1]), namentlich des Sternocleidomastoideus beantwortet. Abschneiden eines Stückchens vom peripheren Stumpf bleibt wirkungslos. Abschneiden eines Stückchens vom centralen Stumpf löst wieder Zuckung aus. Der Versuch wurde mit dem gleichen Erfolge an Thieren wiederholt, an denen die Nerven mit der allergrössten Sorgfalt freigelegt waren, ohne dass das feine Bindegewebe, welches sie überdeckt und mit den darunter liegenden Muskeln verbindet, verletzt oder gar die Nerven selbst berührt worden waren.

Der Sternocleidomastoideus des Affen hat somit nur einen motorischen Nerven, den Accessorius. Die „doppelte Innervation" besteht darin, dass dieser Muskel, wie jeder andere, auch sensible Fasern besitzt. Nur vereinigen sich diese nicht, wie bei anderen Muskeln des Körpers, schon im Foramen intervertebrale mit den motorischen Fasern, sondern erst knapp vor dem Eintritte in den Muskel selbst.

Anders verhält es sich mit dem Trapezius. Dieser erhält beim Affen auch vom Cervicalplexus motorische Fasern, wie die Reizversuche sofort zeigen. Es fragt sich, ob die Muskelfasern, welche beiden Nervenarten zugehören, gleichmässig über den ganzen, flächenhaft ausgebreiteten Muskel vertheilt sind, oder ob gewisse Bündel, vielleicht functionell zusammengehörige, vorwiegend oder ausschliesslich von einem Nerven versorgt werden. Eine solche Vertheilung hat nämlich Remak jun. [2]) für den Menschen wahrscheinlich gemacht. Diese Frage konnte nicht gelöst werden, weil die Anordnung der Fasern in den Geflechten der Cervicalnerven mit dem Accessorius sehr verwickelt ist, und weil der dünne flächenhafte Trapezius des Affen sehr rasch abkühlt und an Erregbarkeit verliert, wenn er in seiner ganzen Ausdehnung blossgelegt wird. Uebrigens hätte die Beantwortung dieser Frage für die menschliche Pathologie weniger Werth, als man auf den ersten Blick erwarten sollte. Macacus besitzt nämlich noch einen Schultermuskel, der dem Menschen gänzlich fehlt, den M. spinocervicalis, dessen Fasern die oberen des Trapezius schief kreuzen. Die Bündel des Trapezius, welche sich an der Clavicula,

1) Es sind die gleichen localen Muskelreflexe, wie sie Sherrington zur Untersuchung der Vertheilung der sensibeln Nerven in der Haut benützt hat. (Experiments in examination of the peripheral distribution of the fibres of the posterior roots of some spinal nerves. Philos. Transact. Vol. 184. 1893 B. p. 655).

2) Siehe die bei Bernhardt loc. cit. angeführten Arbeiten.

am Acromion und der Spina scapulae anheften, haben daher bei diesem Affen andere Functionen als beim Menschen, da sie mit diesem Muskel zusammen arbeiten müssen. Sie können daher nicht mit denen des Menschen ohne Weiteres gleichgestellt werden.

Das Ergebniss unserer Untersuchung über den Sternocleidomastoideus am Affen stimmt vollständig mit demjenigen überein, welches Chauveau, wie Eingangs (S. 169) berichtet, an Einhufern gefunden hat. Dass es auch für andere Thiere gelte, ist daher wahrscheinlich, sehr wahrscheinlich jedenfalls für den Menschen.

Es erübrigt noch, auf den Bischoff-Bernard-Longet'schen Versuch zurückgekommen. Die Erklärung liegt offenbar in dem Sectionsresultate Bischoff's: es waren noch einige Fasern des Accessorius erhalten geblieben. Diese wenigen Fasern genügten bei gewöhnlicher Innervation nicht, um eine merkliche Contraction des Muskels zu erzeugen; wurde aber das Centralnervensystem durch Luftmangel zur Auslösung einer maximalen Inspiration gereizt, so wurden auch die von diesen Nervenfasern versorgten Theile des Sternocleidomastoideus maximal contrahirt, und diese Contraction war merklich. Dass diese Deutung des Versuches die richtige ist, beweisen auch unsere eigenen Erfahrungen mit Durchschneidung unter der Membrana occipitalis. Wir erhielten mehrere Thiere am Leben, denen wir diese Operation aseptisch und daher ohne vorherige Reizung der Wurzelbündel ausgeführt hatten. Bei der Section war scheinbar Alles in Ordnung. Die Präparation am gehärteten Stücke, die mit aller Sorgfalt unter Wasser und unter der Loupe vorgenommen wurde, zeigte aber, dass wir zu tief durchschnitten hatten und Wurzelfäserchen intact geblieben waren.

Nachtrag.

Nach Abfassung des Manuscripts kam mir die jüngst veröffentlichte Arbeit von Risien Russell[1]) über die Nerven, welche beim krampfhaften Schiefhals in Betracht kommen, zu Gesichte. Der Verfasser hat an Affen die gesammten Cervicalwurzeln und die Wurzeln der ersten zwei Brustnerven in Bezug auf ihr Verbreitungsgebiet mittelst elektrischer Reizung untersucht und gibt eine sehr genaue Darstellung von der Innervation der einzelnen Halsmuskeln,

1) J. S. Risien Russell, An experimental investigation of the cervical and thoracic nerve roots in relation to the subject of wry-neck. Brain, Spring and Summer, 1897.

welche er mit den Angaben in Quain's Handbuche der Anatomie des Menschen vergleicht. Nach ihm wird der Sternocleidomastoideus vom ersten und zweiten Cervicalnerven, manchmal auch vom dritten versorgt, der Trapezius vom ersten, zweiten und dritten Cervicalis. Ich habe auf diese höchst überraschenden Angaben hin abermals einen Versuch angestellt, zunächst genau in der Weise wie Risien Russell; das Halsmark wurde blossgelegt, die hinteren Wurzeln der ersten drei Cervicalnerven und die feinen Wurzelfädchen, welche hier zum Accessoriusstamme ziehen, durchgetrennt und die vorderen Wurzeln gereizt[1]). Während die Reizung des Accessorius eine prompte Zuckung im Sternocleidomastoideus hervorrief, erhielt man durch Reizung der ersten zwei Cervicalnerven starke Contractionen in den Muskeln des Zungenbeines und den tief liegenden Halsmuskeln, und nur eine geringe Contraction des Sternocleidomastoideus. Bei dieser Versuchsanordnung verläuft der Stamm des Accessorius noch neben dem Rückenmarke, die vorderen Wurzeln kreuzend. Nun legten wir die Medulla oblongata weiter hinauf bloss und zogen den Accessorius heraus. Alsbald verschwand jede Spur einer Zuckung des Sternocleidomastoideus bei Reizung der genannten Wurzeln, ein Beweis, dass sie nur durch Stromschleifen auf den unmittelbar benachbarten Stamm des Accessorius verursacht war. Ich habe das Experiment noch mit Reizung der vorderen Wurzeln und des Accessorius am frisch getödteten Thiere nach raschester Herausnahme des Rückenmarkes wiederholt, mit dem gleichen unzweideutigen Ergebnisse. Risien Russell ist offenbar durch die Ausserachtlassunng der nothwendigen Vorsichtsmassregel, nämlich der Durchtrennung des Accessoriusstammes, getäuscht worden. Auch seine Angabe, dass der Trapezius vom ersten Cervicalnerven innervirt werde, ist nicht richtig. Möglicher Weise liegt eine Verwechslung dieses Muskels mit dem unmittelbar benachbarten Spinocervicalis (siehe S. 16) vor, der beim Menschen nicht vorhanden ist, und den der Autor übersehen zu haben scheint, da er ihn, ebenso wie die anderen, nicht unwesentlichen, Verschiedenheiten zwischen der Halsmusculatur des Menschen und der von Macacus, gar nicht erwähnt.

1) J. S. Risien Russell, l. c. p. 37: „After effecting an entrance into the neural canal the dura mater was openened, and all the posterior roots of the cervical series were divided on one side, together with a varying number of the thoracic posterior roots, in different experiments, and also the roots of the spinal accessory nerve.“

(Aus dem chemischen Laboratorium des physiologischen Instituts zu Breslau.)

Beiträge zur Kenntniss der thierischen Fette.

Von

W. Lummert.

A) Ueber die Fette des Fettgewebes vom Hunde.

Das Fett, welches in dem Fettgewebe des Thierkörpers enthalten ist, stammt in erster Linie aus dem Fette der Nahrung. Wenn nach vorausgegangenem Hunger die Fettdepots entleert sind, dann sammelt sich nach den bekannten Versuchen von A. Lebedeff[1]) und und J. Munk[2]) bei Fütterung mit verschiedenartigen Fetten (Leinöl, Hammeltalg, nach Versuchen, welche G. Rosenfeld im hiesigen Laboratorium angestellt hat, auch Cocosbutter) in diesen ein Fett an, welches in seinen Eigenschaften eine weitgehende Uebereinstimmung mit den gefütterten Fetten zeigt.

Es bildet sich aber auch Fett im Organismus. Eine Bildung von Fett aus Eiweiss ist bisher nicht mit Sicherheit erwiesen und, wenn vorhanden, so kann sie, soweit wir bisher wissen, nie zu einer nennenswerthen Ablagerung von Fett in den Fettdepots führen. Wir werden desshalb in unsern späteren Betrachtungen auf die Bildung von Fett aus Eiweiss keine Rücksicht nehmen. Dagegen liefern bei den verschiedensten Thieren unter geeigneten Bedingungen der Ernährung die Kohlehydrate einen erheblichen Theil des im Fettgewebe deponirten Fettes.

Dieser Process ist von besonderer Bedeutung für den Pflanzenfresser, welcher in seiner Nahrung im Verhältniss zu den Kohlehydraten nur wenig Fett aufnimmt. Und auch dieses Fett ist in den Pflanzen vielleicht zum grössten Theil aus Kohlehydraten entstanden. Der Fleischfresser begnügt sich im Allgemeinen mit dem Fett, das er im Fleisch und Fett des Pflanzenfressers vorfindet. Aber auch er besitzt die Fähigkeit, Fett aus Kohlehydraten zu bilden.

Unsere Kenntnisse von der Zusammensetzung der Fette sind im Allgemeinen an Fetten gewonnen worden, welche sich im Organismus der Thiere bei gleichzeitiger Fütterung mit Fett und Kohlehydraten ablagern.

1) Centralbl. f. med. Wissensch. Bd. 20 S. 129. 1882.

2) Virchow's Archiv Bd. 95. 1884.

Es erschien aber für eine Reihe physiologischer Fragen, besonders aber für die Frage, wie sich die Fette aus den Kohlehydraten bilden, von Wichtigkeit, die Eigenschaften derjenigen Fette zu untersuchen, die sich im Organismus unter völligem Ausschluss des Fettes in der Nahrung bei alleiniger Fütterung mit Eiweiss und Kohlehydraten ablagern.

Zu diesem Zwecke stellte ich auf Veranlassung von Prof. Röhmann die folgenden Versuche an:

I. Mästung mit Eiweiss und Kohlehydraten.

Die Versuchsthiere sollten durch Hunger und Fütterung mit kleinen Mengen von Eiweiss ihres Fettes möglichst beraubt und dann durch Fütterung mit einer fettfreien, nur aus Kohlehydraten und Eiweiss bestehenden Nahrung gemästet werden.

Die Versuche sollten ausgeführt werden an Enten und Gänsen, welche sich bekanntermaassen mittelst Kohlehydraten leicht mästen lassen, und an Hunden, an welchen von J. Munk[1]) und E. Pflüger[2]) Mästungsversuche durchgeführt worden sind.

Es gelang uns aber auffallender Weise nicht, bei Enten und Gänsen durch Zufuhr einer völlig fettfreien, aber sehr kohlehydrat- und eiweissreichen Nahrung Fettmast zu erzielen. Als Nahrung erhielten die Enten, nachdem einige andere Versuche völlig missglückt waren, Schrotmehl, welches durch Extraction mit Aether entfettet worden war. Daneben erhielt Ente I noch Reisstärke, Ente II noch Caseïn, Reisstärke und invertirten Rohrzucker.

In beiden Versuchen stieg das Körpergewicht, welches während des Hungers sehr erheblich abgenommen hatte, stetig an. Die Thiere wurden geschlachtet, als eine weitere Gewichtszunahme nicht erfolgte. Eine Ansammlung irgend erheblicher Mengen Fett wurde nicht gefunden. Eine eingehende Untersuchung dieses Fettes war nicht möglich. Näheres über diese Versuche siehe im Anhang.

Auch bei der Fütterung der Hunde stiessen wir auf Schwierigkeiten, welche den Ausfall der Versuche nicht so elegant gestalteten, wie wir es beabsichtigt hatten.

Die Hunde erhielten in Versuch I, II, III als Eiweiss Caseïn, in Versuch I und II auch kleine Mengen von Fleisch. Als Kohlehydrate wurden in Versuch I Stärke, in Versuch II invertirter Rohrzucker, in Versuch III Laevulose verfüttert; in Versuch IV erhielt der Hund Fleisch und Stärke.

1) Virchow's Archiv Bd. 101 S. 91. 1885.

2) Dieses Archiv Bd. 52 S. 1. 1892.

Hund I.

Datum 1896	Gewicht in Gramm	Ernährung	Bemerkungen
30. April	6500	hungert	
4. Mai	6700	100 g rohes Pferdefleisch	
5. „	5650	100 g „ „	
6. „	5590	75 g „ „	
7. „	5550	75 g gekochtes „	
8. „	5450	75 g „ „	
9. „	5350	75 g „ „	
10. „	5320	75 g „ „	
11. „	5220	75 g Fleisch und 40 g Caseïn, 5 g	
12. „	5450	Caseïnnatrium, 200 g Stärke, 7 g Fleischextract	Frisst ungern.
14. „	5460	50 g Fleisch, 75 g Caseïn, 50 g Reisstärke	
15. „	5470	50 g Fleisch, 5 g Cas. natr., 70 g Caseïn, 50 g Reisstärke	
16. „	5440	50 g Fleisch, 5 g Cas. natr., 60 g Caseïn, 75 g Reisstärke	
17. „	5600	50 g Fleisch, 5 g Cas. natr., 60 g Caseïn, 75 g Reisstärke	
18. „	5660	50 g Fleisch, 5 g Cas. natr., 60 g Caseïn, 75 g Reisstärke	
19. „	5720	25 g Fleisch, 5 g Cas. natr., 60 g Caseïn, 85 g Reisstärke	
20. „	5770	2 g Fleischextract, 90 g Stärke, 5 g Cas. natr., 60 g Caseïn	Nicht gern gefressen.
21. „	5800	2 g Fleischextract, 90 g Stärke, 5 g Cas. natr., 70 g Caseïn	
22. „	5810	2 g Fleischextract, 100 g Stärke, 5 g Cas. natr., 80 g Caseïn	
23. „	5860	50 g Fleisch, 100 g Stärke, 5 g Cas. natr., 80 g Caseïn	
24. „	5970	50 g Fleisch, 100 g Stärke, 5 g Cas. natr., 65 g Caseïn, 2 g Fleischextract	Durchfall.
25. „	6050	50 g Fleisch, 100 g Stärke, 5 g Cas. natr., 65 g Caseïn	
26. „	6120	50 g Fleisch, 100 g Stärke, 5 g Cas. natr., 65 g Caseïn	
27. „	6120	50 g Fleisch, 100 g Stärke, 5 g Cas. natr., 45 g Caseïn	
28. „	6070	50 g Fleisch, 100 g Stärke, 5 g Cas. natr., 65 g Caseïn	
29. „	6100	50 g Fleisch, 125 g Stärke, 5 g Cas. natr., 65 g Caseïn	
30. „	6180	50 g Fleisch, 125 g Stärke, 5 g Cas. natr., 65 g Caseïn	
31. „	6330	50 g Fleisch, 125 g Stärke, 5 g Cas. natr., 65 g Caseïn	
1. Juni	6460	50 g Fleisch, 125 g Stärke, 5 g Cas. natr., 65 g Caseïn	
2. „	6450	50 g Fleisch, 125 g Stärke, 5 g Cas. natr., 65 g Caseïn	
3. „	6470	50 g Fleisch, 125 g Stärke, 5 g Cas. natr., 65 g Caseïn	

Der Hund wird in Morphiumschlaf aus der Carotis verblutet; das Blut in Alkohol aufgefangen; darauf die Medulla zerstört. Subcutanes Fett ist in grossen Mengen vorhanden, ebenso im retroperitonealen Raum, im Mesenterium und Darmtractus, auch am Perikard wie an den Nieren findet sich eine relativ grosse Menge.

Fett I (subcutan.) auffallend weiss; es werden mit Leichtigkeit gewonnen 78 g.

Fett II (Mescuterium und Darm) gelblich durchscheinend 37 g.

Fett III (Perikard und Niere) Farbenton zwischen I und II.

Unter dem Einfluss eines mehrtägigen Hungerns und Darreichung geringer Mengen mageren Pferdefleisches sank das Körpergewicht des Hundes von 6 500 g auf 5 220 g, d. h. um 1280 g oder 19,4 % des ursprünglichen Körpergewichts; diese Gewichtsabnahme ist relativ gering.

Um dem Hunde eine völlig fettfreie Nahrung zuzuführen, sollte derselbe nur Caseïn, Reisstärke und die nöthigen Salze erhalten. Es zeigte sich aber, dass Hunde die grossen Mengen von Stärke und Caseïn, selbst wenn man das Gemisch mit dem sonst als Geschmackscorrigens sehr wirksamen Fleischextract versetzt, auf die Dauer nicht fressen. Es wurden desswegen kleine Mengen gehackten Fleisches mit wenig Wasser gekocht und mit der Stärke und dem Caseïn gemischt. Dem Caseïn und der Stärke wurde eine kleine Menge Caseïnnatrium beigemengt. Dasselbe wirkt, mit wenig Wasser befeuchtet, als Klebestoff; es liess sich hierdurch die ganze Nahrungsmasse bei allmäligem Zusatz von Fleischbrühe zu Bissen formen, die von den Hunden ohne Mühe aufgenommen wurden. Bei dieser Ernährung stieg das Körpergewicht von 5 220 g auf 6 470 g, also um 1550 g oder 24 %.

Hund IV.

Datum 1896	Gewicht in Gramm	Ernährung
4. Juni	5950	hungert.
9. „	5250	50 g Fleisch.
10. „	5300	50 g „
11. „	5250	50 g „
12. „	5220	hungert.
13. „	5000	„
14. „	4940	50 g Fleisch.
15. „	4820	hungert.
16. „	4700	„

Datum 1896	Gewicht in Gramm	Ernährung
17. Juni	4620	50 g Fleisch.
18. „	4590	50 g „
19. „	4420	hungert.
20. „	4300	50 g Fleisch.
21. „	4250	hungert.
22. „	4100	50 g Fleisch.
23. „	4000	hungert.
24. „	4050	50 g Caseïn, 5 g Cas. natr., 75 g inv. Rohrzucker, 2 g Fleischextract.
25. „	4000	50 g „ 5 g „ 75 g „ 2 g „
26. „	4040	50 g „ 5 g „ 75 g „ 2 g „
27. „	3940	50 g „ 5 g „ 75 g „ 2 g „
28. „	4100	50 g „ 5 g „ 75 g „ 2 g „
29. „	3870	50 g Fleisch, 50 g Caseïn, 5 g Cas. natr., 75 g inv. Rohrzucker.
30. „	3900	50 g „ 20 g „ 5 g „ 75 g „
1. Juli	3850	50 g „ 50 g „ 5 g „ 75 g „
2. „	3910	50 g „ 50 g „ 5 g „ 75 g „
3. „	3880	50 g „ 50 g „ 5 g „ 75 g Traubenzucker (kleinen Theil nicht gefressen).
4. „	3790	200 g Fleisch.
5. „	3830	150 g „ 50 g Reisstärke.
6. „	3710	200 g „ 75 g „
7. „	3760	200 g „ 75 g „
8. „	3830	200 g „ 75 g „
9. „	3970	250 g „ 75 g „
10. „	4000	250 g „ 75 g „
11. „	4090	250 g „ 75 g „
12. „	4150	200 g „ 75 g „
13. „	4330	200 g „ 75 g „
14. „	4350	200 g „ 75 g „
15. „	4380	250 g „ 100 g „
16. „	4480	250 g „ 125 g „
17. „	4670	250 g „ 125 g „
18. „	4860	250 g „ 125 g „
19. „	4970	250 g „ 125 g „
20. „	5050	220 g „ 105 g „
21. „	4950	200 g „ 100 g „
22. „	4950	300 g „ 100 g „
23. „	4920	300 g „ 100 g „
24. „	4980	300 g „ 100 g „
25. „	4930	300 g „ 125 g „
26. „	5070	300 g „ 125 g „
27. „	5240	300 g „ 125 g „
28. „	5270	350 g „ 125 g „
29. „	5410	350 g „ 125 g „

Datum 1896	Gewicht in Gramm	Ernährung
30. Juli	5880	350 g Fleisch, 125 g Reisstärke.
31. „	—	350 g „ 125 g „
1. August	5720	350 g „ 125 g „
2. „	5600	350 g „ 125 g „
3. „	5740	350 g „ 125 g „
4. „	5740	350 g „ 125 g „
5. „	5830	350 g „ 125 g „

Nachdem das Gewicht des Hundes von 5950 g auf 4000 g, d. h. um 32,8 % heruntergebracht worden war, erhielt der Hund verhältnissmässig grosse Mengen von Caseïn, invertirten Rohrzucker und Fleischextract. Trotz dieser Nahrungszufuhr hob sich das Körpergewicht nicht, sondern sank weiter auf 3870 g; auch eine Zugabe geringer Mengen Fleisch hielt den Gewichtsverlust nicht auf. Das Körpergewicht sank auf 3710 g; der Hund hatte also 37,6 % seines Körpergewichts verloren. Erst als der Hund einige Tage grössere Fleischmengen und daneben grosse Mengen von Stärke erhalten hatte, begann die Gewichtszunahme. Das Körpergewicht stieg von 3710 g auf 5830 g, also um 2100 g oder 57,1 %.

Hund II.

Datum 1896	Gewicht in Gramm	Ernährung
7. Mai	4820	hungert.
9. „	4600	75 g Fleisch.
10. „	4450	75 g „
11. „	4350	75 g „
12. „	4300	75 g „
13. „	4350	75 g „
14. „	4290	50 g „
15. „	4250	45 g „
16. „	4200	50 g „
17. „	4170	50 g „
18. „	4070	50 g „
19. „	4050	hungert.

Datum 1896	Gewicht in Gramm	Ernährung
20. Mai	3950	2 g Fleischextract, 50 g inv. Rohrzucker, 50 g Caseïn, 5 g Cas. natr.
21. „	4000	2 g „ 75 g „ 50 g „ 5 g „
22. „	4070	2 g „ 75 g „ 50 g „ 5 g „
23. „	4300	2 g „ 75 g „ 50 g „ 5 g „
24. „	4250	2 g „ 75 g „ 50 g „ 5 g „
25. „	4280	2 g „ 75 g „ 50 g „ 5 g „
26. „	4240	2 g „ 75 g „ 50 g „ 5 g „
27. „	4280	2 g „ 75 g „ 50 g „ 5 g „
28. „	4320	2 g „ 75 g „ 50 g „ 5 g „
29. „	4380	2 g „ 105 g „ 50 g „ 5 g „
30. „	4400	2 g „ 125 g „ 50 g „ 5 g „
31. „	4250	50 g Fleisch, 75 g Rohrzucker, 40 g Caseïn, 5 g Cas. natr.
1. Juni	4340	50 g „ 75 g „ 50 g „ 5 g „
2. „	4420	50 g „ 75 g „ 50 g „ 5 g „
3. „	4450	50 g „ 75 g „ 50 g „ 5 g „
4. „	4480	50 g „ 85 g „ 50 g „ 5 g „
5. „	4540	50 g „ 100 g „ 50 g „ 5 g „
6. „	4600	50 g „ 100 g „ 50 g „ 5 g „
7. „	4650	50 g „ 125 g „ 50 g „ 5 g „
8. „	4650	50 g „ 125 g „ 50 g „ 5 g „
9. „	4800	50 g „ 125 g „ 50 g „ 5 g „
10. „	4850	50 g „ 125 g „ 50 g „ 5 g „
11. „	4920	50 g „ 125 g „ 50 g „ 5 g „ (nur ein Theil gefressen).
12. „	4740	der Rest vom Tage zuvor.
13. „	4850	50 g Fleisch, 50 g Caseïn, 5 g Cas. natr.
14. „	4750	50 g „ 75 g Zuckersyrup, 50 g Caseïn, 5 g Cas. natr.
15. „	4800	50 g „ 100 g „ 25 g „ 5 g „

Der Hund wurde um 9 Uhr Vormittags zum letzten Male gefüttert und um 2 Uhr Nachmittags durch Halsschnitt getödtet. Im Unterhautfettgewebe und im intramuskulären Fettgewebe waren geringe Fettmengen von gelblichem Aussehen, in der Farbe fast gar nicht vom Eingeweidefett verschieden; vom ersten wurden 37 g, vom letzten 25 g gesammelt.

Der Magen zeigte sich in der fünften Verdauungsstunde noch ziemlich gefüllt, nachweisbar waren Fleisch und Caseïn; Reaction entschieden sauer; geringer Katarrh der Schleimhaut. Der Darm ist mit gelblicher, zäher Flüssigkeit erfüllt; dieselbe reagirt bis tief hinab sauer, dann aber alkalisch; die Chylusgefässe sind offenbar nicht mit fettiger Flüssigkeit erfüllt. Die Leber hatte das typische Aussehen einer Glykogenleber und wog 230 g.

Durch Hunger und unzureichende Fleischfütterung wurde das Körpergewicht von 4820 g auf 3950 g, also um 870 g oder 18 % herabgedrückt. Hierauf erhielt der Hund eine Nahrung, welche aus

Eiweiss, invertirtem Rohrzucker und Fleischextract bestand; das Körpergewicht stieg auf 4380 g. Um ein weiteres Ansteigen desselben zu erzielen, wurden die Zuckermengen erhöht, das Körpergewicht stieg aber nicht weiter. Es wurden desshalb die Zuckermengen verringert und 50 g Fleisch für den Tag zugelegt. Jetzt nahm das Körpergewicht wieder zu und stieg bei weiterer Zugabe von Zucker auf 4920 g. Dann trat eine Verdauungsstörung ein; das Körpergewicht sank und schien sich um etwa 4800 g constant zu erhalten. Die Gewichtszunahme betrug 850 g, d. h. 17,7 %. Der Hund hatte während der Kohlehydratfütterung 750 g Fleisch und 1365 g Caseïn erhalten.

Hund III.

Datum 1896	Gewicht in Gramm	Ernährung
19. Mai	5700	hungert.
26. „	4830	75 g Fleisch.
27. „	4730	75 g „
28. „	4680	75 g „
29. „	4650	50 g „
30. „	4500	50 g „
31. „	4410	50 g „
1. Juni	4340	50 g „
2. „	4300	hungert.
3. „	4240	50 g Fleisch.
4. „	4220	hungert.
5. „	4140	50 g Fleisch.
6. „	4120	50 g „
7. „	4100	50 g „
8. „	4120	hungert.
9. „	4120	„
10. „	3900	80 g Caseïn, 5 g Cas. nat., 100 g Reisstärke.
11. „	4190	80 g „ 5 g „ 100 g „ (Durchfall, widerwillig gefressen).
12. „	4320	hungert.
13. „	4050	„
14. „	3900	50 g Caseïn, 5 g Cas. nat., 50 g Laevulose.
15. „	4070	50 g „ 5 g „ 50 g „ 2 g Fleischextract.
16. „	4140	50 g „ 5 g „ 75 g „ 2 g „
17. „	4300	60 g „ 5 g „ 75 g „ 2 g „
18. „	4420	60 g „ 5 g „ 75 g „ 2 g „
19. „	4480	20 g „ 5 g „ 80 g „ 2 g „
20. „	4500	20 g „ 5 g „ 75 g „ 2 g „

Der Hund wird in Morphiumschlaf aus der Carotis verblutet und das Blut in Alkohol aufgefangen. Subcutanes Fett ist in sehr geringer Menge vorhanden (ca. 5 g), im Mesenterium etwas reichlicher (ca. 30 g); auffallend ist, dass dieses Fett selbst bei sehr hoher Sommertemperatur fest wird, während von Hund I und II dasselbe stets flüssig ist. Die Chylusgefässe sind weisslich umrandet und von einer klaren Flüssigkeit erfüllt.

In der Vorperiode sank das Körpergewicht von 5700 g auf 3900 g, also um 31,6 %. Der Hund erhielt hierauf Caseïn, Laevulose und Fleischextract. Trotz der völligen Entziehung des Fettes und der vorangegangenen sehr erheblichen Gewichtsabnahme stieg das Körpergewicht von 3900 g auf 4500 g. Die Gewichtszunahme betrug 600 g, also 15,4 %. Der Versuch wurde aus äusseren Gründen abgebrochen.

In allen diesen vier Versuchen wurde durch Fütterung einer eiweiss- und kohlehydratreichen Nahrung sehr erhebliche Gewichtszunahme erzielt. Im Versuch Hund III hatte die Nahrung gar kein Fett enthalten. In den andern Versuchen musste dagegen den Hunden im Fleisch eine gewisse Menge von Fett zugeführt werden. Dieselbe ist aber im Verhältniss zur Gewichtszunahme gering. Nimmt man selbst an, dass alles in der Nahrung zugeführte Fett unverändert im Fettgewebe abgelagert worden sei, und berücksichtigt man gleichzeitig den Ansatz von Eiweiss und Wasser, so sind doch die Gewichtszunahmen derart, dass man, gestützt auf die analogen Beobachtungen anderer Forscher, nicht zweifeln wird, dass eine Mast durch Bildung von Fett aus Kohlehydraten stattgefunden hat. Dieses aus Kohlehydraten gebildete Fett bildete mit etwaigem zu Ende der Hungerperiode noch vorhandenem und etwa aus der Nahrung stammenden Fett das Fett, welches sich am Ende der Versuche im Fettgewebe vorfand. Hatte das aus Kohlehydraten entstandene Fett irgend welche charakteristischen Eigenschaften, so war zu erwarten, dass sich dies bei Untersuchung der in obigen Versuchen gewonnenen Fette zeigen würde.

II. Untersuchung der Fette.

Zur Untersuchung gelangten das Unterhautfettgewebe (Fett I) und das Fett des Mesenteriums und Omentum (Fett II).

Das Fett wurde in allen Fällen in der Weise gewonnen, dass das mit der Schere zerschnittene Fettgewebe in einer Porcellanschale

durch vorsichtiges Erhitzen über einer kleinen Gasflamme ausgelassen und im Heisswassertrichter durch Papier filtrirt wurde.

Das Fett der Ente war intensiv gelb gefärbt und hatte eine relativ feste Consistenz. Das Fett der Hunde war farblos oder schwach gelblich. Es war bei Zimmertemperatur im Sommer ziemlich weich und trennte sich beim Stehen in einen flüssigen und einen festen krystallinischen Antheil. Nach längerem Stehen bis zum Winter hatten sich die beiden Schichten wieder vereinigt und bildeten ein trübes weisses Fett von Salbenconsistenz.

I. Der Schmelzpunkt[1]).

Zur Bestimmung des Schmelzpunktes diente Fett I und II von Hund I und Fett I von Hund IV. Zum Vergleich wurde das aus dem Omentum gewonnene Fett eines Hundes herangezogen, der nach vorangegangener Entfettung mit Hammeltalg, und eines zweiten, der in entsprechender Weise mit Cocosbutter gefüttert worden war. Ich verdanke dieselben der Freundlichkeit des Herrn Dr. G. Rosenfeld.

Die Bestimmung wurde ausgeführt nach Bensemann mit den Fettsäuren.

Ein weites Glasrohr wurde an einer Stelle kugelförmig aufgeblasen und unterhalb der so erhaltenen kugelförmigen Erweiterung zu einer nicht zu engen Capillare ausgezogen. Man saugt nun ein Tröpfchen der verflüssigten Fettsäuren in die erweiterte Stelle und lässt es an der Glaswand unter Auftropfen von Aether erstarren. Dann schmilzt man die Capillare zu. Am andern Tage wird das so vorbereitete Röhrchen an dem Thermometer mittelst eines Gummiringes derart befestigt, dass die kugelförmige Erweiterung in die Höhe des Quecksilbergefässes zu liegen kommt. Thermometer und Schmelzröhrchen werden in einem 300 ccm fassenden mit Wasser gefüllten Becherglas langsam erwärmt. Man beobachtet den Punkt, bei welchem sich der Fetttropfen von der Wand der Kugel löst und in den Anfangstheil der Capillare fliesst (Anfangspunkt des Schmelzens) und weiterhin den Moment, in welchem in dem zerflossenen Fett die letzte Spur von Trübung verschwindet (Endpunkt des Schmelzens).

1) Die im Folgenden beschriebenen Methoden, ebenso wie die auf die Fette bezüglichen Daten sind, soweit sie nicht auf eigenen Untersuchungen beruhen, entnommen der Analyse der Fette und Wachsarten von Rudolf Benedikt. Dritte erweiterte Auflage von Ferdinand Ulzer. Berlin 1897.

Schmelzpunkt der Fettsäuren:

Hund I.	a) Unterhautfettgewebe	33,5—36,0 ° C.
	b) Eingeweidefett	33,5—36,5 ° C.
Hund IV.	Unterhautfettgewebe	33,5—37,0 ° C.
Fett vom Omentum nach Fütterung mit Cocosbutter		27,5—29,5 ° C.
	mit Hammelfett	46,0—48,0 ° C.

Der Schmelzpunkt des Hundefettes bezw. der aus ihm erhaltenen Fettsäuren kann hiernach, wie ja auch bereits nach andern Erfahrungen bekannt ist, je nach der Ernährung innerhalb sehr weiter Grenzen schwanken. Er kann je nach der Art des zugeführten Fettes bei Ernährung mit einer fettreichen Nahrung höher oder niedriger als bei Fütterung mit einer sehr fettarmen, aber eiweiss- und kohlehydratreichen Nahrung liegen.

Zum Vergleich seien die Schmelzpunkte der Fettsäuren anderer Thiere angeführt.

Schmelzpunkt der Fettsäuren:

Reh	62—64 ° C.	Hauskatze	40—41 ° C.
Gemse	57—58 ° C.	Schwein	43—47 °, 35 ° C.
Edelhirsch	50—52 ° C.	Wildschwein	40—44 ° C.
Hammel	49—54 ° C.	Pferd	36—42 °, 37,5—39,5 ° C.
Hase	44—47 ° C.	Dachs	34—36 ° C.
Kaninchen	44—46 ° C.	Huhn	38—40 ° C.
Rind	43—47 ° C.	Gans	38—40 ° C.
Fuchs	41—43 ° C.		

Einen auffallend hohen Schmelzpunkt zeigen die Pflanzenfresser, welche sich vorwiegend von grünen Pflanzentheilen, besonders Gramineen, ernähren. Das Fett der Fleischfresser besitzt einen niedrigeren Schmelzpunkt. Die Angaben über den Schmelzpunkt des Fettes vom Schwein und Pferd weichen unter einander erheblich ab. Sie sind unter gewissen Umständen ebenso niedrig, wie die oben angeführten Zahlen für das Fett des Hundes bei Kohlehydratfütterung. Sehr niedrig ist der Schmelzpunkt des Dachsfettes.

Man könnte nach den oben mitgetheilten Erfahrungen annehmen, dass diese Verschiedenheiten im Schmelzpunkt der verschiedenen Thiere in unmittelbarer Beziehung zur Beschaffenheit des Fettes der Nahrung stünden, dass z. B. bei den Grasfressern desswegen der Schmelzpunkt ein hoher sei, weil das Gras überwiegend Stearin oder Substanzen, aus denen sich im Thierkörper Stearin bilden könnte, enthielte, dass die niedrigen Schmelzpunkte aber auf eine Bildung

von Fett aus Kohlehydraten hindeuten, z. B. in den betreffenden Fällen beim Pferd und Schwein. Dagegen ist aber zu bemerken, dass das Pferd bei Fütterung mit Hafer neben den Kohlehydraten ein flüssiges, dem Rüböl ähnliches Fett aufnimmt. Und beim Schwein fand E. Meissl[1]) gerade nach Fütterung mit Kohlehydraten hohe Schmelzpunkte.

Hier sind weitere Untersuchungen erforderlich[2]).

2. Die Säurezahl.

Die Säurezahl gibt die Menge Kalihydrat in Zehntelprocenten oder die Anzahl Milligramme Kalihydrat für 1 g Fett an, welche zur Neutralisation der in einem Fett befindlichen freien Fettsäuren nothwendig ist und bildet daher ein Maass für den Gehalt des Fettes an freien Fettsäuren. Zur Bestimmung derselben löste ich 2—3 g Fett in einer Mischung von 2 Theilen über Natrium destillirten Aethers und 1 Theil nach Waller gereinigten Alkohols und titrirte mit $^1/_{10}$ Normal alkoholischer Kalilauge unter Anwendung von Phenolphtaleïn. Ich fand folgende Werthe.

Säurezahl des Hundefettes.

Hund I.	Unterhautfett . . .	1,01	Hund III.	Unterhautfett . .	1,98
	Darmfett	2,51		Darmfett	0,56
Hund II.	Unterhautfett . . .	0,36	Hund IV.	Unterhautfett . .	2,12
	Darmfett	0,17		Darmfett	3,78

Die Acidität dieser Fette ist dieselbe, wie sie bei anderen Fetten gefunden wurde.

3. Die Verseifungszahl.

Die Verseifungszahl oder Köttstorfer'sche Zahl gibt an, wieviel Miligramm Kalihydrat von den in 1 g Fett enthaltenen Fettsäuren bei der Verseifung gebunden werden.

Zur Bestimmung derselben verfährt man folgendermaassen: 1—2 g Fett werden in einem Erlenmeyer'schen Kolben abgewogen; dann bringt man in den Kolben 25 ccm $^1/_2$ Normal alkoholischer Kalilauge, setzt auf den Kolben einen kleinen Trichter und

1) Zeitschr. f. Biologie Bd. 22 (N. F. 4) S. 160.

2) Wie mir Dr. G. Rosenfeld persönlich mittheilt, ist er bereits seit einiger Zeit in seinem Laboratorium mit Versuchen beschäftigt, welche die Beziehungen zwischen dem normalen Fette der verschiedenen Thierspecies und der Beschaffenheit des Fettes ihrer Nahrung aufklären sollen.

erhitzt unter öfterem Umschwenken 15—30 Minuten zum schwachen Sieden auf dem Wasserbade und titrirt nach Zusatz einer alkoholischen Phenolphtaleïnlösung mit ½ Normalsalzsäure die nicht gebundene Menge Alkali zurück. Die Differenz zwischen der angewandten und der durch Zurücktitriren gefundenen Anzahl Milligramme Kalihydrat wird auf 1 g Fett umgerechnet.

Die Grösse der Verseifungszahl hängt, wie die folgende Tabelle zeigt, in erster Linie ab von dem Moleculargewicht der in den Fetten enthaltenen Fettsäuren.

Fett	Molecular-Gewicht	Von 1 g Triglycerid werden gebunden mg KOH	Fettsäure	Molecular-Gewicht	Von 1 g Fettsäure werden gebunden mg KOH
Tristearin	890	188,7	Stearinsäure	284	197,2
Trioleïn	884	190,0	Oelsäure	282	198,6
Tripalmitin	806	208,0	Palmitinsäure	256	207,4
Trimyristin	722	232,9	Myristinsäure	228	218,8
Trilaurin	638	263,4			
Tricaprinin	594	282,8			
Tricapronin	386	435,3			
Tributyrin	302	556,3			

Hohe Verseifungzahlen von Fetten deuten also auf die Anwesenheit kohlenstoffarmer Fettsäuren hin. So besitzt z. B. die Butter, welche sich durch ihren grossen Gehalt an flüchtigen Fettsäuren von allen anderen thierischen Fetten unterscheidet, die Verseifungszahl 227. Besonders hoch ist auch die Verseifungszahl des Cocusöls 255 und die des Palmkernöls 248. Beide Fette zeichnen sich aus durch einen ungewöhnlich hohen Gehalt an Laurinsäure und Myristinsäure; sie enthalten ausserdem die Triglyceride der Capron-, Capryl- und Caprinsäure. Niedere Verseifungszahlen deuten auf die Anwesenheit von Fettsäuren mit hohem Moleculargewicht. Sie können aber auch daher rühren, dass die Fette Körper gelöst enthalten, welche nicht Triglyceride sind, z. B. kohlenstoffreichere Alkohole (Cholesterin, Cetylalkohol), frei oder in Form von Fettsäureestern, ferner Lactone, Lecithin u. a. m.

Die Verseifungszahlen einer Reihe thierischer Fette zeigt die folgende Tabelle.

Verseifungszahlen von Thierfetten.

Reh	199	Rind	198—200
Gemse	208	Fuchs	191,7
Edelhirsch	199,9	Hauskatze	190,7
Hammel	195,2	Hund	195,4
Hase	200,9	Huhn	193,5
Kaninchen	202,6	Gans	192,6
Schwein	195,3—196,8	Wildschwein	195,1
Pferd	195,1—196,8	Dachs	193,1

Die Verseifungszahl der Thierfette entspricht im Allgemeinen einem Gemenge von Triolein, Tristearin und Tripalmitin. Die höher schmelzenden Fette haben im Allgemeinen auch höhere Verseifungszahlen. Es beruht dies ebenso wie der höhere Schmelzpunkt auf einem geringeren Gehalt an Oelsäure (cf. Jodzahl).

Die Verseifungszahlen der Hundefette nach Fütterung mit Eiweiss und Kohlehydraten waren:

	Unterhautfettgewebe	Darmfett
Hund I.	198,0	190,2
Hund II.	197,0	198,0
Hund III.	—	194,4
Hund IV.	197,6	197,3

Füttert man einen Hund nach vorheriger Entfettung mit einem Fett, dessen Verseifungszahl höher liegt, als die des Hundefettes nach Fütterung mit Eiweiss und Kohlehydraten, so ändert sich die Verseifungszahl des Hundefettes in entsprechender Weise. So zeigt das Fett aus dem Unterhautfettgewebe des mit Cocusbutter gefütterten Hundes die Verseifungszahl 237.

4. Die Reichert-Meissl'sche Zahl.

Die Reichert-Meissl'sche Zahl gibt eine Vorstellung von der Menge der flüchtigen Fettsäuren, die in einem bestimmten Fett im Vergleiche zu anderen Fetten enthalten sind.

5 g geschmolzenes und filtrirtes Fett werden in einem Kölbchen von ca. 200 ccm Inhalt mit ca. 2 g festen Aetzkali, welches man in gleich langen Stücken vorräthig hält, und 20 ccm 70% Alkohol unter Schütteln auf dem Wasserbade verseift, bis zur vollständigen Verflüchtigung des Alkohols eingedampft, der dicke Seifenbrei in 100 ccm Wasser gelöst, mit 40 ccm 10% Schwefelsäure versetzt und nach Zugabe einiger hanfkerngrosser Bimsteinstücke durch ein

mit einem Liebig'schen Kühler in Verbindung stehendes Rohr destillirt. Auch kann man eine weite Kugelröhre ansetzen, um ein Ueberspritzen der Schwefelsäure zu verhüten. Man fängt 110 ccm des Destillates in einem cubicirten Kolben auf, wozu etwa eine Stunde nöthig ist, filtrirt davon 100 ccm in einen zweiten cubicirten Kolben ab und titrirt nach Zusatz von Phenolphtaleïn mit $^1/_{10}$ Normalalkali, bis sich die Flüssigkeit auch nach längerem Schütteln schwach rosa färbt. Man vergrössert die verbrauchte Anzahl Cubikcentimeter um $^1/_{10}$ und bezieht das Resultat auf 5 g Substanz. (Die ursprüngliche Reichert'sche Zahl ist halb so gross.)

Von den Reichert-Meissl'schen Zahlen für Thierfette seien die Folgenden erwähnt:

Reh	1,98	Pferd	1,64—2,14
Gemse	3,6	Fuchs	2,6
Edelhirsch	3,8	Hauskatze	1,8
Hase	4,8	Hund	1,1
Kaninchen	5,6	Huhn	2,0
Rind	0,5	Gans	1,96

für Hammel und Schwein ist die Reichert-Meissl'sche Zahl anscheinend noch nicht bekannt.

Die Hundefette gaben folgende Zahlen:

	Unterhautfettgewebe	Darmfett
Hund I.	0,8	0,8
Hund II.	0,9	0,95
Hund III.	—	0,7
Hund IV.	—	1,6

Wir sehen hieraus, dass die Menge der flüchtigen Fettsäuren im Fettgewebe der verschiedenen Thiere eine ausserordentlich geringe ist, bei Hunden auch nach Mästung mit Kohlehydraten.

5. Die Jodzahl.

Die Jodzahl gibt an, wie viel Procent Jod ein Fett zu binden vermag. Diese Eigenschaft beruht bei dem Fett des Fettgewebes fast ausschliesslich auf der Anwesenheit der Oelsäure, welche sowohl im freien Zustande wie als Triglycerid auf 1 Molecül 2 Atome Jod aufnehmen kann. Es können aber in anderen thierischen Fetten noch andere Substanzen, besonders Cholesterin gelöst sein, welche sich in ähnlicher Weise wie die ungesättigten Fettsäuren mit den Halogenen verbinden.

Die Bestimmung erfolgt nach der Methode von v. Hübl:

Jod wirkt bei gewöhnlicher Temperatur nur sehr träge auf Fette ein; in der Wärme ist dieselbe eine ungleichmässige. Dagegen reagirt eine alkoholische Jodlösung bei Gegenwart von Quecksilberchlorid schon bei gewöhnlicher Temperatur mit den ungesättigten Fettsäuren und deren Glyceriden ebenso wie mit Cholesterin unter Bildung von Chlorjodadditionsproducten und lässt gleichzeitig anwesende gesättigte Säuren unverändert. Man verfährt nun so, dass man das in Chloroform gelöste Fett mindestens 4 Stunden mit einer alkoholischen Jodquecksilberchloridlösung, deren Jodgehalt durch Titriren mit unterschwefligsaurem Natrium ermittelt wird, stehen lässt. Dann setzt man eine gewisse Menge Jodkaliumlösung hinzu, verdünnt mit Wasser und bestimmt durch Titration mit unterschwefligsaurem Natrium die Menge des nicht absorbirten Jod. Aus der Differenz zwischen dem Jodgehalt der angewandten Jodquecksilberchloridlösung und der Menge des vom Fett nicht absorbirten Jods ergibt sich die Jodzahl, d. h. die vom Fett aufgenommene Menge Jod. (Näheres über die Ausführung der Methode s. R. Benedict-Ulzer, Technologie der Fette, 1897. S. 150.)

Es seien zunächst die Jodzahlen, welche für die Beurtheilung der Jodzahlen der thierischen Fette in erster Linie in Betracht kommen, angeführt.

Oelsäure[1]	ber.	90,07	gef.	89,8—90,5.
Oleïn	„	84,73	„	—
Cholesterin[2]	„	68,3	„	67,3
Cholesterin-Palmitinsäureester	„	40,7	„	—
„ -Stearinsäureester	„	39,8	„	37,9[3]
„ -Oelsäureester	„	80,0	„	83,2[3]

Jodzahlen von Thierfetten.

Reh	32,1	Rind	40,0 (35,4—36,4)
Gemse	25,0	Fuchs	79,7
Edelhirsch	25,7	Hauskatze	54,5
Hammel	35,2—46,2	Hund	58,5
Hase	81,1—119,1	Huhn	75,8—77,2
Haus-Kaninchen	69,6	Gans	71,7
Wild-Kaninchen	96,9—102,8		
Schwein	59,0 (49,0—63,8)	Wildschwein	76,6
Pferd	86,1 (78,84—81,6)	Dachs	71,3

1) Benedict-Ulzer S. 155.

2) Lewkowitsch, Bericht d. d. chem. Ges. Bd. 25 S. 66. 1892.

3) Eigene Bestimmungen.

Die niedrigen Jodzahlen von etwa 25—45 bei Reh, Gemse, Hirsch, Hammel, Rind beweisen, wie bereits erwähnt, in Uebereinstimmung mit dem hohen Schmelzpunkt und der etwas höheren Verseifungszahl den relativ geringen Gehalt an Oelsäure. Die hohen Jodzahlen (Hase, Kaninchen) deuten im Verein mit den hohen Verseifungszahlen darauf hin, dass in den Fetten Substanzen enthalten sind, welche ein grösseres Jodbindungsvermögen als Oelsäure besitzen, also vermuthlich Fettsäuren mit mehr als einer doppelten Bindung.

In Uebereinstimmung hiermit wird sowohl vom Fett des Hasen, des Wildkaninchen und Wildschweines angegeben, dass es unter starker Abnahme der Jodzahl trockne.

Auch die hohe Jodzahl des Pferdefettes erklärt sich vielleicht durch die Beschaffenheit des im Hafer enthaltenen Fettes. Dasselbe ähnelt dem Rüböl, welches eine Jodzahl von etwa 100 besitzt.

Das Fett des Hundes nach Fütterung mit Kohlehydraten hatte folgende Jodzahlen:

	Unterhautfettgewebe	Darmfett
Hund I.	63,94	60,3
Hund II.	66,5	66,3
Hund III.	63,3	65,2
Hund IV.	—	72,8

Sie nähern sich bei Hund I, II, III am meisten dem Schweinefett. Die Jodzahl des Fettes von Hund IV ist höher. Es scheint mir die letztere darauf hinzudeuten, dass in diesem Falle neben dem aus Kohlehydraten gebildeten Fett eine nicht unerhebliche Menge des im gefütterten Pferdefleisch enthaltenen Fettes, dessen Jodzahl höher als 80 sein kann, abgelagert ist.

Diese Annahme stützt sich auf Beobachtungen, welche G. Rosenfeld im hiesigen Laboratorium machte, die zeigen, wie sich auch die Jodzahl des Fettes der Fettdepots mit der Beschaffenheit des Nahrungsfettes ändern.

Nach Fütterung mit Hammelfett, dessen Jodzahl 32 betrug, war die Jodzahl im Unterhautfettgewebe 47, im Omentum 41,5 und 44,5. Nach Fütterung mit Cocosbutter, deren Jodzahl nur 8,6 betrug, war die Jodzahl im Unterhautfettgewebe 27,7, im Omentum 20,1. In diesen Fällen hatten die gefütterten Fette Jodzahlen, welche niedriger liegen als die Jodzahlen des Hundefettes nach Fütterungen mit Kohlehydraten. Sie bewirkten, dass auch die Jodzahl im Fett des Fettdepots eine Erniedrigung erfuhr.

Nach Fütterung mit Leinöl, dessen Jodzahl 148—183 betragen kann, würde voraussichtlich eine weit höhere Jodzahl als nach Fütterung mit Kohlehydraten gefunden werden.

6. Die Acetylzahl.

Ausser den Glyceriden der Fettsäuren sind besonders in manchen pflanzlichen Fetten Oxyfettsäuren enthalten, z. B. im Ricinusöl die Ricinusölsäure. In anderen Fetten finden sich hochmoleculare Alkohole (Cetylalkohol) der Fettreihe, in anderen Cholesterin $C_{26}H_{43}OH$ theils frei, theils mit Fettsäuren zu Estern verbunden. Die Anwesenheit solcher Körper, welche OH-Gruppen enthalten, lässt sich leicht erkennen, und ihre Menge lässt sich leicht beurtheilen mit Hülfe der Acetylzahl. Die Fette werden verseift; die Seife wird mit Salzsäure zerlegt. Man erhält so eine Masse, welche Fettsäuren, Oxyfettsäuren, Alkohole und Cholesterin enthalten kann. Kocht man dieselben mit Essigsäureanhydrid, so bleiben die Fettsäuren unverändert, die Oxyfettsäuren und das Cholesterin gehen in die entsprechenden Acetylester über.

$$2\ C_{26}H_{43}OH + \left.\begin{matrix} C_2H_3O \\ C_2H_3O \end{matrix}\right\rangle O = 2\ C_{26}H_{43}O\ C_2H_3O + 2\ H_2O$$

Cholesterin Essigsäureanhydrid Cholesterinacetat

$$2\ C_{18}H_{35}O_2OH + \left.\begin{matrix} C_2H_3O \\ C_2H_3O \end{matrix}\right\rangle O = 2\ C_{18}H_{35}O_2\ OC_2H_3O + H_2O$$

Oxystearinsäure Oxystearinsäureacetat

Man kann nun zunächst wie bei der Säurezahl durch Titriren die Menge der im Gemisch enthaltenen Säuren (theils Fettsäuren, theils acetylirte Oxyfettsäuren) ermitteln. Man erhält so die Acetylsäurezahl.

Wenn man nun weiter das neutralisirte Estergemisch mit einer bestimmten Menge überschüssiger alkoholischer Kalilauge kocht, so werden die vorhandenen Essigsäureester verseift und eine gewisse Menge Kalilauge durch die Essigsäure gebunden. Diese Menge Kalilauge, berechnet auf 100 Theile des betreffenden Fettes, ist die Acetylzahl.

$$C_{26}H_{43}OC_2H_3O + KOH = C_{26}H_{43}OH + C_2H_3OOK$$

Die Acetylzahl gestattet die Menge der in einem Fette enthaltenen OH-Gruppen und bei Abwesenheit anderer Oxyverbindungen in einfachster Weise die Menge des Cholesterins zu berechnen.

Die Acetylsäurezahl kann in vielen Fällen darauf hindeuten, ob die OH-Gruppen in einem Alkohol oder in Säuren enthalten sind. Kennt man die Säuren, welche das Fett enthält, so weiss man auch annähernd, innerhalb welcher Grenzen sich die Mengen Alkali, welche das Fett zur Neutralisation erfordert, bewegen (cf. die Verseifungszahlen). Diese Zahlen werden nur wenig beeinflusst, wenn ein Theil der Fette statt H- die OH-Gruppe enthält. Sind aber in dem Fett wesentliche Mengen von einem Alkohol enthalten, z. B. Cholesterin, so wird die Acetylsäurezahl erniedrigt.

Wir verführen im Anschluss an das von Benedict und Ulzer empfohlene Verfahren in folgender Weise:

4 g Fett wurden mit 4 ccm Kalilauge (spec. Gew. 1,4) und 20 ccm fuselfreiem Alkohol verseift. Die Seife wird zur Entfernung des Alkohols zweimal mit Wasser abgedampft und mit Salzsäure zerlegt. Die Fettsäuren werden, nachdem sie vollkommen geschmolzen sind, auf einem Filter zur Entfernung des Glycerins auf das Gründlichste mit heissem Wasser gewaschen. Bei der Untersuchung des Ligroinextractes des Blutes oder der Leber, welche, wie wir sehen werden, verhältnissmässig grosse Mengen von Cholesterin und andere bisher noch nicht näher untersuchte Substanzen enthalten, war das Auswaschen auf dem Filter nicht möglich. In diesen Fällen wurden die Fettsäuren mit Aether ausgeschüttet. Das Fettsäuregemisch wurde bei Verarbeitung des Fettes vom Unterhautbindegewebe und Darmfett nach dem Erkalten auf ein kleines trocknes Filter gebracht und im Luftbade bei 70—80° filtrirt; die Aetherextracte wurden im Vacuum über Schwefelsäure einen Tag getrocknet.

Das trockne Fettsäuregemisch wurde mit 10—15 ccm Essigsäureanhydrid in einem kleinen Erlenmeyer'schen Kölbchen 3 Stunden am Rückflusskühler gekocht. Dann wurde die Lösung in ein grösseres Kölbchen, das ungefähr 100—150 ccm Wasser enthielt, gegossen und zur Zerlegung des Essigsäureanhydrids mindestens eine halbe Stunde gekocht. Um ein Stossen der Flüssigkeit zu vermeiden, leitet man durch ein rechtwinklig gebogenes Rohr, das an seinem unteren Ende zu einer Capillare ausgezogen ist, einen langsamen CO_2-Strom ein. Hierauf befestigt man dieses Rohr durch einen mit Quetschhahn versehenen Gummischlauch an der Wasserleitung, saugt an der Wasserstrahlpumpe, indem man den Quetschhahn öffnet, die Flüssigkeit unter dem Fett fort, schliesst den Quetschhahn, wäscht das Fett mehrmals mit kochendem Wasser und saugt wieder

ab. Dann wird das Fett noch zweimal im CO_2-Strom mit Wasser gekocht und an der Saugpumpe wieder gewaschen, bis die Waschflüssigkeit Lacmuspapier nicht mehr röthet. Nunmehr lässt man das Fett vollständig erstarren, saugt das Wasser möglichst vollständig ab und trocknet im Vacuum über Schwefelsäure. Von den in dieser Weise mit Essigsäureanhydrid behandelten Fettsäuren bringt man in ein gewogenes Erlenmeyer'sches Kölbchen 2—3 g, löst in säure- und fuselfreiem Weingeist, setzt Phenophtalein hinzu und titrirt natürlich ohne zu erwärmen mit $^1/_2$ Normallauge bis zur Rothfärbung (Acetylsäurezahl), dann fügt man einen Ueberschuss von 20 ccm derselben Lauge hinzu, erwärmt auf dem Wasserbade zum schwachen Sieden und titrirt mit $^1/_2$ Normalsalzsäure zurück (Acetylzahl).

Nach den Untersuchungen von Benedict und Ulzer haben die meisten pflanzlichen Oele (Hanföl, Leinöl, Olivenöl) niedrige Acetylzahlen, die zwischen 3,4 und 8,5 liegen. Eine hohe Acetylzahl, die höher als 10 ist, haben Mohnöl 13,1, Cottonöl 16,6 und vor allem Ricinusöl 153,4.

Die Acetylsäurezahl ist bei den Pflanzenfetten relativ hoch 193,3—196,6, nur beim Ricinusöl 142,8. Es macht dies wahrscheinlich, dass die Acetylzahl in letzterem durch die Anwesenheit von Alkoholen bedingt ist. Nach E. Salkowski enthalten die vegetabilischen Oele, mit Ausnahme des Olivenöls, beträchtliche Mengen Phytosterin.

Für thierische Fette finden wir folgende Angaben über die Acetylzahl:

Butter 9,6 18,2.

Reh	12,0	Fuchs	43,1
Gemse	7,5	Hauskatze	10,0
Edelhirsch	16,4	Wildkatze	19,5
Hase	34,8	Hund	10,7
Zahmes Kaninchen	31,0	Huhn	45,2
Wildes Kaninchen	41,7	Gans	27,0
Pferd	6,64—13,74	Wildschwein	29,3
		Dachs	13,1

Diese Zahlen sind vielfach auffallend hoch. Wären sie richtig, so würden sie auf einen nicht unbeträchtlichen Gehalt der Fette an Oxyfettsäuren oder Alkoholen (Cholesterin) hindeuten.

Für das Hundefett wurden nach Fütterung mit Eiweiss und Kohlehydraten folgende Zahlen gefunden:

		Acetylsäurezahl	Acetylzahl
Hund I.	Unterhautfett	206,0	5,1
Hund II.	Darmfett	205,7	8,4
Hund IV.	Unterhautfett	205,6	3,0

Von dem oben erwähnten mit Hammelfett gefütterten Hunde hatte das Nierenfett die Acetylsäurezahl 204,7 und die Acetylzahl 3,4.

Von dem mit Cocosbutter gefütterten Hunde hatte das Fett des Omentums die Acetylsäurezahl 243,8 und die Acetylzahl 12,0.

Die Cocosbutter hatte die Acetylsäurezahl 242,5 und die Acetylzahl 4,0.

Erwähnen will ich auch den von uns für Rindermark gefundenen Werth:

Acetylsäurezahl 201,0, Acetylzahl 9,0.

Die Werthe für die Acetylzahlen sind bei den von uns untersuchten Fetten des Fettgewebes vom Hunde so niedrig, dass bisher nicht mit Sicherheit zu sagen ist, ob sie durch die Unvollkommenheit der Methode bedingt sind oder auf die Anwesenheit von geringen Mengen Oxyfettsäuren oder Alkoholen (Cholesterin) hinweisen.

Bei der Untersuchung des Fettes von Hund IV gelang es nicht, in demselben Cholesterin aufzufinden.

Stellen wir nunmehr die Resultate der im Vorhergehenden mitgetheilten Versuchen zusammen, so ergeben sich für das Fett, welches sich in den Fettdepots des Hundes nach Fütterung mit Eiweiss, möglichst geringen Mengen von Fett und grossen Mengen von Kohlehydraten ansammelt, folgende Werthe:

Hund		Schmelzpunkt der Fettsäuren	Acidität	Reichert-Meissl	Jodzahl	Verseifungszahl	Acetylsäurezahl	Acetylzahl
I.	Unterhautfett	33,5—36	1,01	0,8	63,9	198,0	206,0	5,1
	Darmfett	33,5—36,5	2,51	1,25	60,3	190,2	—	—
II.	Unterhautfett	—	0,36	0,84	66,5	197,0	205,7	8,4
	Darmfett	—	0,17	1,10	66,3	193,9	—	—
III.	Unterhautfett	—	1,98	—	63,3	—	—	—
	Darmfett	—	1,56	0,68	65,2	194,4	—	—
IV.	Unterhautfett	33,5—37,0	—	—	—	197,6	205,6	3,0
	Darmfett	—	—	1,65	72,8	197,3	—	—

Alle diese Werthe liegen innerhalb von Grössen, wie sie auch sonst für thierische Fette gefunden werden. Die Fette bestehen fast ausschliesslich aus den Triglyceriden der Palmitin-, Stearin- und Oelsäure, sie enthalten dieselben in den gleichen Verhältnissen wie andere thierische Fette.

Von besonderer Wichtigkeit scheint mir der Nachweis, dass in den Fetten nach Kohlehydratfütterung weder Oxyfettsäuren, noch Alkohole der Fettreihe in wesentlichen Mengen enthalten sind.

Die Bildung der Fette aus Kohlehydraten setzt eine Reduction der in letzteren enthaltenen OH-Gruppen voraus. Es wäre ja nicht unmöglich gewesen, dass dieser Reductionsprocess ein unvollkommener im Organismus wäre. Man hätte dann Zwischenproducte zwischen Fetten und Kohlenhydraten finden können, die ein Licht auf den so interessanten Vorgang der Bildung von Kohlehydraten aus Fett hätten werfen können. Die mitgetheilten Untersuchungen aber zeigen, dass in den Fettdepots, wenn man so sagen darf, nur fertig gebildetes Fett zur Ablagerung gelangt.

B) Ueber das Fett der Leber.

Bekanntlich kann die Leber ähnlich wie das Unterhautfettgewebe als Ablagerungsstätte für das Fett der Nahrung dienen.

Auch bei Mästung mit Kohlehydraten — ich erinnere nur an die Stopfleber der Gänse — setzen sich häufig Fette in mitunter erstaunlicher Menge in der Leber an. Wie weit dieselben aus den Kohlehydraten der Nahrung, wie weit aus dem gleichzeitig mit den Kohlehydraten gefütterten Fette stammen, lässt sich jedoch bisher nicht sagen.

Die Mengen Fett (Ligroinextract), die wir bei den oben erwähnten und einigen noch später anzuführenden Versuchen in der Leber der Hunde nach Fütterung mit Eiweiss und Kohlehydraten fanden, waren auffallend gering.

Es betrug

	der Ligroinextract in 100 g trockner Leber	in der ganzen Leber	pro Kilothier	der Stickstoff in 100 g trockn. fettfr. Substanz der Leber
Hund I	7,66	4,5	0,69	13,26
Hund II	4,89	2,9	0,50	10,54
Hund III	4,66	3,8	0,79	7,99
Hund IV	5,19	3,3	0,73	6,57
Hund V	8,72	2,1	0,64	10,07
Hund VI	6,56	1,6	0,44	12,37
Hund VII	4,95	4,8	0,48	8,77
Hund IX	7,0	10,5	0,7	11,43

Diese Fettmengen sind nicht grösser, als sie G. Rosenfeld nach lang andauerndem Hungern fand. Er gibt in einer vorläufigen Mittheilung über Fettwanderung (Verhandlung des Congresses für innere Medicin zu Wiesbaden) an, dass die Leber des Hundes, auch wenn das Körpergewicht unter dem Einfluss eines langdauernden Hungers um 35 % abgenommen hat, noch immer 10 % Fett enthielt.

Sie sind auch nicht grösser, als wir sie in anderen Organen fanden. In Milz und Nieren waren folgende Fettmengen enthalten:

Milz.

Hund	Ligroinextract in 100 Theil. Trockensubstanz	Stickstoff in 100 Theil. fettfr. Trockensubstanz
V	9,97	13,49
VII	9,92	14,41
VIII	10,76	15,15
IX	13,73	17,06

Niere.

Hund	Ligroinextract in 100 Theil. Trockensubstanz	Stickstoff in 100 Theil. fettfr. Trockensubstanz
VIII	12,09	16,32
IV	16,8	12,8

Die auf fettfreie Trockensubstanz berechneten Fettmengen erscheinen in der Leber sogar geringer als in anderen Organen. Wie die Stickstoffzahlen aber zeigen, beruht dies darauf, dass in die Lebersubstanz in grösserer Menge stickstofffreie Substanzen, in erster Linie Glykogen eingelagert ist.

Untersucht man diese Fette, so zeigen sie wesentliche Unterschiede gegenüber dem Fett des Fettgewebes. Nach den Beobachtungen von G. Rosenfeld hat das Leberfett einen niedrigeren Schmelzpunkt als das Fett des Fettgewebes. Man erkennt dies häufig schon an der geringeren Consistenz.

G. Rosenfeld fand bei Hunden, die er mit Hammelfett gefüttert hatte, folgende Schmelzpunkte:

	A	B
Fett des Omentum	52° C.	51—52° C.
Unterhautfettgewebe	48° C.	51° C.
Leber	40° C.	35° C.

Es zeigen ferner, wie ebenfalls schon von G. Rosenfeld beobachtet wurde, die Jodzahlen der Leberfette erheblich höhere Werthe.

Jodzahl.

	A	B
Omentum	41—42	44,5
Unterhautfettgewebe	47	—
Leber	83	75,4

Ganz analog waren die Resultate, die ich bei der Untersuchung der Leberfette erhielt. Auch in meinen Versuchen hatten sie eine geringere Consistenz als die des Fettgewebes. Die Bestimmung des Schmelzpunktes war, besonders wegen der starken Färbung der Leberextracte, nicht ausführbar.

Auch die Jodzahlen des Leberextractes waren stets höher als die des Fettes aus dem Fettgewebe.

Jodzahl.

Hund	Leberfett	Unterhautfett	Darmfett
I	87,7	63,94	60,3
II	89,9	66,5	66,3
III	84,2	63,3	65,2

Der Grund für diese Erscheinung konnte ein doppelter sein; die Erhöhung der Jodzahl konnte darauf beruhen, dass der Ligroinextract der Leber im Verhältniss zur Palmitin- und Stearinsäure mehr Oelsäure enthielt als das Fett des Fettgewebes, oder dass in ihm neben der Oelsäure noch andere jodbindende Substanzen enthalten waren. Hierbei war in erster Linie an Cholesterin zu denken. Es wurden mit Rücksicht hierauf auch von den Leberextracten die Acetylsäurezahlen und Acetylzahlen bestimmt.

Es ergab sich:

Ligroinextract der Leber.

Hund	Acetylsäurezahl	Acetylzahl
III	163,3	33,9
VII	130,4	33,4
VIII	107,6	50,9
IX	136,0	45,6

Die Acetylzahlen sind hoch, die Werthe für die Acetylsäurezahlen niedrig, d. h. in dem Ligroinextract ist ein Alkohol enthalten. Es liess sich leicht nachweisen, dass dieser Alkohol jedenfalls der Hauptmenge nach Cholesterin war. Der Aetherextract wurde verseift und aus der Seife mit Aether das Cholesterin ausgeschüttelt.

In anderen Fällen (besonders beim Blut s. u.) wurde zur directen Bestimmung des Cholesterins, um die Emulsionsbildung zu vermeiden, in anderer Weise verfahren: Die Fette wurden verseift und mit $^1/_2$ Normalsalzsäure genau neutralisirt. Die Seifen wurden völlig zur Trockne verdampft, dann in heissem Aceton gelöst. Beim Erkalten schieden sich die Seifen wieder aus, während das Cholesterin im Aceton gelöst blieb. Die Seifen wurden abgesaugt, das Aceton verdunstet, der Acetonrückstand mit Petroleumäther ausgekocht, filtrirt, verdunstet und der Petroleumrückstand mit Aether, der durch Destillation über Natrium von etwaigen Säuren und Wasser befreit war, aufgenommen. Durch Umkrystallisiren aus Aetheralkohol liess sich das Cholesterin leicht völlig rein darstellen. Der Ligroinextract der Leber von Hund VI lieferte 19 % Cholesterin.

Berechnet man aus den Acetylzahlen die Mengen des Cholesterin, so enthielte der

Ligroinextract der Leber

bei	Hund III	23,3 %	Cholesterin.
„	Hund VII	23,3 %	„
„	Hund VIII	34,9 %	„
„	Hund IX	31,4 %	„

Auch die Ligroinextracte von Milz und Niere enthielten verhältnissmässig viel Cholesterin.

Es wurde gefunden

im Milzfett	von Hund	VII	13,0 %	Cholesterin
„ „	„ „	VIII	21,0 %	„
„ Nierenfett	„ „	VIII	22,0 %	„

C) Ueber das Fett des Blutes.

Die Thatsache, dass die Mengen des Fettes in der Leber bei Fütterung mit Eiweiss und Kohlehydraten selbst unter Bedingungen, unter denen eine unzweifelhafte Mästung stattfand, so ausserordentlich gering waren, wird noch auffallender, wenn man diese Mengen mit den im Blute enthaltenen vergleicht.

Um uns eine Vorstellung von der Menge des im Blute enthaltenen Fettes zu machen, verfuhren wir folgendermaassen: das Blut wurde in dem mehrfachen Volumen Alkohol aufgefangen. Nach 24 Stunden wurde der Niederschlag abgesaugt und dreimal mit Alkohol ausgekocht, indem der Niederschlag vor jedem Auskochen aus dem Trichter herausgenommen und zerrieben wurde. Aus den vereinigten Alkoholextracten wurde der Alkohol zuerst abdestillirt, dann auf dem Wasserbade vorsichtig verdunstet. Der Rückstand wurde mit Petroleumäther aufgenommen. Der Petroleumäther wurde verdunstet und über Schwefelsäure stehen gelassen. Der Rückstand wird von Neuem in Petroleumäther gelöst. Die Lösung wird, wenn nöthig, nachdem sie einen Tag lang gestanden hatte, filtrirt, verdunstet, der Rückstand getrocknet und gewogen.

Es wurden so folgende Mengen Fett erhalten: Hund IV 1,15 %, VI 1,14 %, VII 0,96 %, VIII 0,936 %, IX 0,907 %.

Nimmt man die Blutmenge zu 1/13 des Körpergewichts an, so würden die Fettmengen in der Gesammtmenge des Blutes sein bei Hund IV 5,1 g, VI 3,2 g, VII 7,8 g, VIII 7,2 g, IX 10,4 g.

Man sieht, dass die im Blute enthaltenen Fettmengen bei Fütterung mit Eiweiss und Kohlehydraten nicht nur gleich, sondern unter Umständen sogar viel grösser als die in der Leber enthaltenen sein können.

Es ergab sich ferner, dass die Acetylsäurezahlen des Blutfettes im Durchschnitt bei weitem niedriger und die Acetylzahlen im Durchschnitt erheblich höher sind, als die des Leberfettes.

Blutfett.

Hund	Acetylsäurezahl	Acetylzahl
VII	102,8	84,7
VIII	107,2	79,7
IV	114,2	89,3

Unter der Annahme, dass die Acetylzahl nur durch die Anwesenheit von Cholesterin bedingt ist, würde der Ligroinextract des Gesammtblutes enthalten haben bei

Hund IV	61,3 %	Cholesterin.
Hund VII	58,2 %	„
Hund VIII	54,9 %	„

Nach den Untersuchungen von C. Hürthle[1]) enthält das Blut neben geringen Mengen Palmitinsäurecholesterinester vorwiegend Oel-

1) Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 21 S. 331. 1896.

säurecholesterinester. Der letztere enthält 58,5 % Cholesterin. Es könnte also im Gesammtblut alles Cholesterin esterartig gebunden sein, es ist aber natürlich auch eben so gut möglich, dass im Blut neben freiem Cholesterin noch die Triglyceride der Fettsäuren enthalten sind, ebenso wie noch weiterhin zu untersuchen ist, ob sich im Blut, in der Leber und anderen Organen neben dem Cholesterin noch andere Körper mit OH-Gruppen finden. —

Die hohen Werthe, die wir für den Ligroinextract des Blutes bei Hunden gefunden hatten, die unter fast vollkommenem Ausschluss von Fett mit Eiweiss und Kohlehydraten gefüttert worden waren, veranlassten uns, zu untersuchen, welchen Einfluss die Nahrung auf die Menge der im Ligroin löslichen Substanzen des Blutes hat.

Zu diesen Versuchen dienten grosse Hunde. An jedem wurden drei Versuche angestellt. Nach vorangegangenem Hunger erhielt der Hund an drei auf einander folgenden Tagen eine bestimmte Kost, am dritten wurde mehrere Stunden nach der Nahrungsaufnahme ohne Narkose eine Blutentziehung aus einem Seitenaste der art. femoralis gemacht. Dann folgte eine zweite kurze Fütterungsperiode, wenn nöthig nach Einschaltung einiger Hungertage. Die zweite Blutentziehung wurde aus dem Seitenaste der anderen femoralis gemacht. Hieran schloss sich eine dritte Periode, an deren Ende zuerst eine Probe zur Fettbestimmung aus der einen femoralis aufgefangen und schliesslich die Hauptmenge des Blutes zur weiteren Untersuchung gesammelt wurde. Die quantitative Bestimmung des Fettes geschah in der oben beschriebenen Weise.

Hund VII.

Datum 1896	Gewicht in Gramm	Ernährung
26. bis 30. Juni	—	hungert.
1. Juli	10 200	150 g Caseïn, 10 g Cas. natr., 50 g Fleisch.
2. „	10 300	150 g „ 10 g „ „ 50 g „ + 1 g Salzgemisch.
3. „	10 850	150 g „ 10 g „ „ 50 g „ + 1 g „ 3 Uhr 15 Min. Nachmittag Blutentnahme A. 50 g in 275 ccm Alkohol.
4. „	—	früh 100 g Stärke, 150 g Caseïn, 10 g Cas. natr., 50 g Fleisch, 1 g Salzgemisch.
5. „	—	abends 100 g Stärke, 150 g Caseïn, 10 g Cas. natr., 100 g Fleisch, 1 g Salzgemische.

Hund VII (Fortsetzung).

Datum 1896	Gewicht in Gramm	Ernährung
6. Juli	—	früh 9 Uhr 100 g Stärke, 75 g Caseïn, 10 g Cas. natr., 100 g Fleisch, 1 g Salzgemische.
		3 Uhr 50 Min. Nachmittags Blutentnahme B. 56 g.
6.-8. „	—	hungert.
9. „	—	abends 7 Uhr 15 Min. 100 g Traubenzucker, 500 g Fleisch.
10. „	—	früh 8 Uhr 100 g „ 500 g „
	9 970	3 Uhr Nachm. getödtet, Blutentnahme C. 54 g + 410 g.

Hund VIII.

Datum 1896	Gewicht in Gramm	Ernährung
4.-13. Juli	9 990	hungert.
13. Juli		Früh Blutentnahme A. 50 g.
14. „		abends 7 Uhr 500 g Fleisch.
15. „		früh 8 Uhr 30 Min. 600 g Fleisch.
16. „		früh 8 Uhr 30 Min 600 g „
		Blutentnahme B. 61 g.
17.-21. Juli		hungert.
22. Juli		600 g Fleisch, 100 g Dextrose.
23. „		300 g „ 75 g „
		Der Hund wurde in der vierten Verdauungsstunde getödtet. Blutentnahme C. 57 g.

Im Mesenterium fand sich kein Fett, ebenso im Unterhautzellgewebe. Die Leber war eine Glykogenleber, wog 393 g (142 g trocken), Milz 14 g (trocken 3 g), Nieren 54 g (trocken 13 g).

Hund IX.

Datum 1896	Gewicht in Gramm	Ernährung
15.-21. Juli	—	hungert.
		Blutentnahme A. 97 g.
22. Juli	15 700	775 g Fleisch.
23. „	—	900 g Fleisch, 200 g Reisstärke.
24. „	—	900 g „ 200 g „
		Blutentnahme B. 105 g.
25.-28. Juli	—	hungert.
29. „	15 050	1000 g Fleisch.
		Blutentnahme C. 120 g.

Die Leber wog 530 g, Nieren 86 g, Milz 30 g. Die Bestimmung von Blut C verunglückte.

Das wesentliche Resultat zeigt folgende Tabelle:

Einfluss der Ernährung auf den Ligroinextract des Blutes.

Hund	Art der Fütterung	Gewicht des Ligroin-extractes in Gramm	Ligroin-extract in %	Gewicht der entnommenen Blutmenge in Gramm
VII	Caseïn und Fleisch	0,3796	0,759	50,0
	Stärke, Caseïn und Fleisch	0,4631	0,827	56,0
	Traubenzucker und Fleisch	0,5187	0,961	54,0
VIII	Hunger	0,4159	0,831	50,0
	Fleisch	0,5144	0,843	61,0
	Traubenzucker und Fleisch	0,5336	0,936	57,0
IX	Hunger	0,7887	0,813	97,0
	Stärke und Fleisch	0,9527	0,907	105,0

Aus derselben scheint hervorzugehen, dass bei Fütterung mit Eiweiss und Kohlehydraten die Menge des Ligroinextractes im Blute zunimmt. Es müssen aber noch mehr Versuche nach dieser Richtung hin angestellt werden, ehe man ein endgültiges Urtheil abgeben kann.

Anhang.

Ente I.

Datum 1896	Gewicht in Gramm	Ernährung
6. Mai	2150	Hunger.
9. „	1950	
10. „	—	
11. „	1825	6 g Cas. natr., 2 g Knochenkohle, 1-2 g „Fleischsalze“ 1)
12. „	1750	
13. „	1700	
14. „	1660	
15. „	1610	15 g Caseïn, 5 g Cas. natr., 20 g Traubenzucker, 1 g Knochenkohle, 0,5 g Salze.
16. „	1520	150 g Schrotmehl mit Wasser angefeuchtet.
17. „	1480	150 g „ „ „ „

1) J. Munk, Virch. Arch. 132 S. 102 Anm.

Ente I (Fortsetzung).

Datum 1896	Gewicht in Gramm	Ernährung
18. Mai	1660	100 g Schrotmehl.
19. „	1710	100 g „
20. „	1750	90 g „
21. „	1670	90 g „ 25 g Reisstärke.
22. „	1600	90 g „ 25 g „
23. „	1680	90 g „ 25 g „
24. „	1700	90 g „ 25 g „
25. „	1770	90 g „ 25 g „
26. „	1830	90 g „ 25 g „
27. „	1830	90 g „ 35 g „
28. „	1800	90 g „ 35 g „
29. „	1860	100 g entfettetes Schrotmehl, 35 g Reisstärke.
30. „	1880	100 g „ „ 35 g „
31. „	1990	Hunger.
1. Juni	1720	Hunger.
2. „	—	Hunger.
3. „	1550	Hunger.
4. „	1530	Hunger.
5. „	1490	100 g entfettetes Schrotmehl, 35 g Reisstärke.
6. „	1620	100 g „ „ 35 g „
7. „	1670	100 g „ „ 35 g „
8. „	1820	100 g „ „ 35 g „
9. „	1800	100 g „ „ 35 g „
10. „	1750	125 g „ „ 25 g „
11. „	1790	125 g „ „ 25 g „
12. „	1800	125 g „ „ 25 g „
13. „	1850	125 g „ „ 25 g „
14. „	1850	150 g „ „ 25 g „
15. „	1870	150 g „ „ 25 g „
16. „	1920	150 g „ „ 35 g „
17. „	2010	150 g „ „ 35 g „
18. „	2050	150 g „ „ 35 g „
19. „	1990	Geschlachtet.

In einer Vorperiode wurde bei diesem Thiere, einem kräftigen, schwarzen Enterich, zuerst festgestellt, ob gewöhnliches, käufliches, nicht entfettetes Schrotmehl ein für Enten geeignetes Futter ist. Dies schien der Fall zu sein; denn nach der sehr bedeutenden Gewichtsabnahme von 31,1% stieg das Körpergewicht sehr bald bei Darreichung des Schrotmehls. Da auch entfettetes Schrotmehl gut vertragen wurde, liessen wir die Ente wieder hungern und gaben nun, allmälig steigend, so grosse Mengen von entfettetem Schrotmehl und Reisstärke, als überhaupt aufgenommen wurden. Dabei verliess ein grosser Theil der Nahrung den Körper ungenutzt. Als sich eine weitere Gewichts-

zunahme nicht erzielen liess, im Gegentheil in Folge der Ueberfütterung Verdauungsstörungen aufzutreten begannen, wurde das Thier geschlachtet.

Im Unterhautbindegewebe fand sich eine an sich geringe Menge Fett, die uns besonders gering erschien im Verhältniss zu der doch erheblichen Gewichtszunahme.

Das Mesenterium war nahezu fettfrei; es enthielt nur spärliche Fettflöckchen. Zwischen Ventrikel und Vorhof war eine dünne, schwache Fettleiste. Die Leber hatte das Aussehen einer Glykogenleber. Die Chylusgefässe im Mesenterium erschienen fettfrei.

Das gewonnene Fett war auffallend gelb und fest; es hatte die verhältnissmässig niedrige Jodzahl 53,4.

Ente II.

Datum 1896	Gewicht in Gramm	Ernährung
10. Juni	2400	} Hunger.
17. „	1850	
18. „	1790	25 g Caseïn, 1 g Heuasche, 50 g Reisstärke.
19. „	1810	25 g „ 0,5 g „ 100 g „
20. „	1860	150 g entfett. Schrotmehl, 25 g Reisstärke.
21. „	1950	150 g „ „ 25 g „
22. „	1950	150 g „ „ 25 g „
23. „	2000	100 g „ „ 25 g „ 10 g Caseïn.
24. „	2020	100 g „ „ 25 g „ 10 g „ 10 g Fruchtzuck.
25. „	1970	100 g „ „ 25 g „ 10 g „ 10 g „
26. „	2040	100 g „ „ 25 g „ 10 g „ 10 g „
27. „	2040	125 g „ „ 25 g „ 10 g „ 10 g „
28. „	2240	125 g „ „ 25 g „ 10 g „ 10 g „
29. „	2130	125 g „ „ 25 g „ 10 g „ 10 g „
30. „	—	125 g „ „ 25 g „ 10 g „ 10 g „
1. Juli	—	125 g „ „ 25 g „ 10 g „ 20 g „
2. „	2130	125 g „ „ 25 g „ 10 g „ 20 g „
3. „	2160	125 g „ „ 25 g „ 10 g „ 20 g „
4. „	2140	150 g „ „ 25 g „ 10 g „ 30 g „
5. „	2210	150 g „ „ 25 g „ 10 g „ 30 g „
6. „	2220	150 g „ „ 25 g „ 10 g „ 30 g „
7. „	2260	150 g „ „ 25 g „ 10 g „ 30 g „
8. „	2290	150 g „ „ 25 g „ 10 g „ 30 g „
9. „	2250	150 g „ „ 25 g „ 10 g „ 30 g „
10. „	2410	150 g „ „ 25 g „ 10 g „ 30 g „
11. „	2300	150 g „ „ 25 g „ 10 g „ 30 g „
12. „	—	150 g „ „ 25 g „ 10 g „ 30 g „
13. „	2430	150 g „ „ 25 g „ 10 g „ 30 g „
14. „	2370	Geschlachtet.

Leber wiegt frisch 52 g, braun, scharfe Ränder, lufttrocken: 16 g.

Bei diesem Thiere, einer weissen Ente, wurde die Nahrungszufuhr noch weiter gesteigert, indem neben dem entfetteten Schrotmehl und Reis noch recht beträchtliche Mengen des leicht resorbirbaren Caseïns und des invertirten Rohrzuckers verabreicht wurden. Es wurde hierbei das Gewicht, welches das Thier vor Beginn des Versuches — also bei Darreichung eines normalen Futters besessen hatte — erreicht. Es wurde geschlachtet, als eine weitere Gewichtszunahme nicht eintrat. Auch hier war keine Mästung eingetreten. Die Mengen des abgelagerten Fettes waren nur gering.

Hund V.

Datum 1896	Gewicht in Gramm	Ernährung
26. Juni	3670	hungert.
29. „	3520	50 g Fleisch.
30. „	3540	hungert.
1. Juli	3500	50 g Fleisch.
2. „	3440	50 g „
3. „	3410	hungert.
4. „	3330	50 g Fleisch. Mannosesyrup ausgebrochen.
5. „	3320	50 g „
6. „	3340	20 g Traubenzucker, 50 g Fleisch.
7. „	3250	40 g „ 50 g „

Der Hund wird in Morphiumchloroformnarkose aus der Carotis verblutet, das Blut in Alkohol aufgefangen.

Das Blut enthält 0,679 % Ligroinextract.

Hund VI.

Datum 1896	Gewicht in Gramm	Ernährung
26. Juni	4230	hungert.
29. „	4150	50 g Fleisch.
30. „	4010	hungert.
1. Juli	3870	„
2. „	3710	„
3. „	3650	50 g Fleisch, 20 g Galaktose
4. „	—	50 g „ 20 g „

Der Harn des Hundes reducirte stark und drehte die Ebene des polarisirten Lichtes nach rechts [+ 5° 24′].

Beim Erhitzen mit essigsaurem Phenylhydrazin scheidet sich ein Osazon ab, das ähnlich dem Maltosazon in langen, schmalen Tafeln krystallisirt, die theils gekreuzt, theils sternförmig angeordnet sind. Es wird also anscheinend ein nicht unbeträchtlicher Theil der gefütterten Galaktose unverändert ausgeschieden.

Der Ligroinextract des Blutes beträgt 1,01%.

Aus dem in Ligroin unlöslichen Theile des Alkoholextractes des Blutes scheidet sich beim Erhitzen mit essigsaurem Phenylhydrazin beim Erkalten ein Niederschlag ab, der sich beim Erwärmen wieder löst. Er besteht aus Sternen oder Garben, deren Nadeln unter symmetrischen spitzen Winkeln angeordnet sind (Galaktosazon?).

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Graz.)

Zur Kenntniss der physiologischen Verschiedenheit der quergestreiften Muskeln der Kalt- und Warmblüter.

Von

Professor **Alexander Rollett.**

(Mit 3 Textfiguren und Tafel I.)

Im 64. Bande dieses Archivs (S. 507) habe ich eine Mittheilung veröffentlicht, welche die Beobachtungen von Marey[1]) und von Funke[2]) über die Veränderungen des Zuckungsverlaufes quergestreifter Muskeln von Fröschen in Zuckungsreihen wesentlich erweitert und vervollständigt. Ferner habe ich ganz besonders auch den Einfluss der Erholung auf den Verlauf der Zuckung und die Folgen der von beiden Momenten abhängigen Veränderungen des Zuckungsverlaufes für den Charakter des Tetanus behandelt, und zwar alles nicht bloss für die Frosch-, sondern auch für die Krötenmuskeln, und zwar für beide im blutdurchströmten Zustande. Es musste mich nun begreiflich sehr interessiren, wie sich die Muskeln anderer Thiere, besonders die von Warmblütern, bei der Untersuchung mittelst der dort angewendeten Methoden verhalten.

Auf Unterschiede der Muskeln von Kaltblütern und Warmblütern ist man schon früher bewusst und unbewusst gestossen. Ich erinnere an die Versuche von Rossbach[3]), von Harteneck[4]) und von beiden Genannten[5]) an Warmblütermuskeln. Rossbach

1) Du mouvement dans les fonct. de la vie p. 238. Paris 1868.

2) Dieses Archiv Bd. 8 S. 213.

3) Dieses Archiv Bd. 13 S. 607.

4) Untersuchungen über Ermüdung und Erholung des quergestreiften Muskels der Warm- und Kaltblüter. Ing.-Diss. Würzburg 1877.

5) Dieses Archiv Bd. 15 S. 1.

sagt von denselben, dass damit ähnliche Studien wie sie Kronecker, Tiegel und Funke an Froschmuskeln machten, beabsichtigt waren, wobei man sich sofort erinnern möge, dass Kronecker[1]) und Tiegel[2]) mit ihren Versuchen einen anderen Plan als Funke mit den seinen verfolgten.

Kronecker und Tiegel zeichneten nur Zuckungshöhen auf stillstehender Myographiontrommel nach periodischen Sprüngen der letzteren auf, während Funke die Zuckungen auf continuirlich mit bestimmter Geschwindigkeit bewegter Trommel anschrieb, weil er die Veränderungen des zeitlichen Verlaufes der Zuckung in Zuckungsreihen ganz besonders kennen lernen wollte, wovon Kronecker und Tiegel abstrahirten. Bei Rossbach findet sich aber über die Bewegung der Myographiontrommel das Folgende: „Die Form der Muskelcurven wurde an die Trommel bei ihrer schnellsten Umlaufsgeschwindigkeit angeschrieben." Das ist das Eine; weiter heisst es dann: „Wo ich nur die Hubhöhe verzeichnen wollte, wurde die Trommel entweder von einem Assistenten immer um ein Weniges weiter gerückt und während der Zuckung still gehalten." Es wurde also dabei verfahren wie bei Kronecker und Tiegel. Endlich heisst es aber noch, und das entspricht dem Verfahren von Funke: „oder es wurden die Zuckungen während der langsamsten Umdrehungsgeschwindigkeit einfach auf die Trommel aufgeschrieben, aber ohne dieselbe während der Zuckung einzuhalten; die Muskelcontraction zeichnete auch im letzteren Falle immer nur eine gerade Linie, und nur die letzten Theile der absteigenden Curve bildeten am Fusspunkte der Geraden eine mehr oder weniger schräge Linie."

Da sich das auch bei sehr kleinen Reizintervallen (1—2 Secunden) in langen Zuckungsreihen bei den Versuchen von Rossbach so verhielt, so stehen diese Versuche von Rossbach, wie wir nun hier hervorheben wollen, im Gegensatze zu den Versuchen Funke's am Frosche, denn Funke fand, dass schon bei grösseren Reizintervallen, 4—6 Secunden zwischen den Einzelreizen in den Zuckungsreihen, von Zuckung zu Zuckung zunehmende Verlängerung der Zuckungsdauer auftritt, und dass bei Verkürzung der Intervalle diese Verlängerung der Zuckungsdauer in den auf einander folgenden Gliedern

1) Berichte der kgl. sächs. Gesellschaft der Wissenschaft. Med.-physik. Classe S. 690. 1871.

2) Daselbst S. 81. 1875.

der Reihe um so rascher sich entwickelt, was mit einem früheren Versuche von Marey übereinstimmt und mich zu den ausgedehnten Studien an den Muskeln von Fröschen und Kröten veranlasste, die ich in der früher citirten Arbeit niedergelegt habe.

Es zeigte sich also in Rossbach's Versuchen an Warmblütermuskeln in langen Zuckungsreihen mit kurzen Intervallen, ganz abweichend von Funke's Ergebnissen am Froschmuskel, die Zuckungsdauer nicht von Glied zu Glied der Zuckungsreihe wachsend, sondern erhalten oder nahezu erhalten.

Das wird aber von Rossbach weder hervorgehoben noch besonders discutirt, und eben so wenig ist in den Mittheilungen Harteneck's über die Versuche an blutdurchströmten Warmblütermuskeln auf diese Abweichung vom Kaltblütermuskel irgend aufmerksam gemacht oder ein Werth gelegt.

Ich bin nun in einigen Versuchen an Muskeln von Warmblütern auch wieder auf die Erhaltung der Zuckungsdauer in Zuckungsreihen mit kurzen Intervallen, deren Glieder die Treppe und den Ermüdungsabfall zeigten, gestossen.

In dem Wegfalle der Zunahme der Zuckungsdauer in den Gliedern der Reihe präsentirt sich aber ein bemerkenswerther Unterschied des Warmblütermuskels von dem Kaltblütermuskel. Ich habe aber nicht bloss diese Thatsache anzuführen, ich muss auch noch auf eine wichtige Angabe von Fick[1]) bei Gelegenheit seiner Mittheilung über myographische Versuche am lebenden Menschen verweisen, in welcher er als eine Eigenthümlichkeit der menschlichen Muskulatur hervorhebt, dass die Summirung der Wirkung von auf einander folgenden Einzelreizen bei demselben weiter geht als beim Froschmuskel. Wir werden auch auf diesen Unterschied später im Zusammenhange mit einer Reihe wichtiger Erscheinungen am Warmblütermuskel stossen. Mosso[2]) hat, gestützt auf diese wichtige Beobachtung von Fick, die Anwendung tetanisirender elektrischer Reize bei seinen Studien mit dem Ergographen begründet, auf welche wir auch verweisen müssen. Mosso wendete diese Art der Reizung fast in allen Versuchen an, die er zum Vergleiche der auf elektrischem Wege hervorgerufenen Ermüdungscurve mit der durch willkürliche Muskelerregung erhaltenen ausführte, während er Einzelreize in Form von

1) Dieses Archiv Bd. 41 S. 176.
2) Archiv f. Anat. u. Physiolog. Physiol. Abth. S. 89. 1890.

inducirten Schliessungs- und Oeffnungsschlägen nur zu wenigen Versuchen nach Art der Kronecker'schen Versuche an Froschmuskeln auch für den menschlichen Muskel benutzte. Auf diese Versuche von Mosso müssen wir später noch zurückkommen.

Ich gehe nun zu meinen Versuchen über. Ich habe früher angeführt, dass man bei den Muskeln von Warmblütern in Zuckungsreihen, wenn man auch kleine Intervalle zwischen den Einzelreizen wählt, auf keine Zunahme der Zuckungsdauer stösst, ja wenn man auch das Reizintervall sehr klein macht, ist eine solche Zunahme noch nicht besonders merklich. Dieser Thatsache gegenüber verdient nun aber auch eine Beobachtung an den Kaltblütermuskeln eine aufmerksame Würdigung. Ich habe diese Beobachtung in der angeführten Abhandlung[1]) erwähnt.

Es zeigt sich nämlich, dass man in Zuckungsreihen des Kaltblütermuskels, wenn man die Reizintervalle bestimmt gross macht, die Zuckungsdauer erhalten kann, oder man findet bei solchen grösseren Reizintervallen wenigstens, dass man zu einer grossen Anzahl von Curven steigen muss, um eine geringe, und dass man zu einer sehr hohen Anzahl von Curven steigen muss, um eine beträchtlichere Aenderung des Zuckungsverlaufes zu erhalten.

Während solcher Zuckungsreihen mit erhaltener oder doch durch längere Zeit erhaltener Zuckungsdauer sieht man aber beim Kaltblütermuskel an den Zuckungshöhen die Treppe und darauf den Ermüdungsabfall auftreten und so eine Ermüdungserscheinung, die Abnahme der Zuckungshöhe, getrennt von einer anderen Ermüdungserscheinung, nämlich der Verlängerung der Zuckungsdauer sich entwickeln, welche unter anderen Umständen beim Kaltblütermuskel parallel gehend verlaufen, während beim Warmblütermuskel die Verlängerung der Zuckungsdauer nicht wesentlich in Betracht kommt. Es scheint mir sehr wichtig zu sein, dass die vergleichende Untersuchung von Warm- und Kaltblütermuskeln auf diese Thatsachen führt.

Zum Zwecke unserer Vergleichung muss ich aber nun hier, ehe ich zu den Muskeln der Warmblüter übergehen kann, noch die unsere früheren Angaben rechtfertigenden Versuche an Kaltblütermuskeln mittheilen. Fig. 1 (S. 213) stellt einen Versuch am Gastrocnemius des Frosches (Rana esculenta) dar[2]). Er ist er-

1) l. c. S. 546.

2) Die Figuren 1 und 1a sind im Vergleiche mit den Originalen auf etwas über 0,8 verkleinert.

halten mit den Mitteln und unter Bedingungen, wie ich sie in der angeführten Abhandlung [1]) beschrieben habe.

Gereizt wurde in diesem Versuche mit Oeffnungsinductionsschlägen vom N. ischiadicus aus nach Durchschneidung des Plexus und Immobilisirung des Thieres mittelst Umwicklung mit hydrophilen Mullbinden.

Das Reizintervall war aber nicht wie in den früheren Versuchen 1,5 Secunden, sondern 6 Secunden, weil nur bei jeder vierten Trommelumdrehung eine Zuckung ausgelöst und angeschrieben wurde.

Es wurde ferner erst zu schreiben angefangen, nachdem vorausgehend 208 Zuckungen mit in der Luft leer gehendem Hebel bei der Belastung mit 20 g in denselben Intervallen ausgelöst worden waren, sodass die angeschriebenen Zuckungen die 209.—280. Zuckung der Reihe darstellen.

Man vergleiche nun diese Figur mit Fig. 1 a (S. 214), welche einen Versuch darstellt, der an demselben Prä-

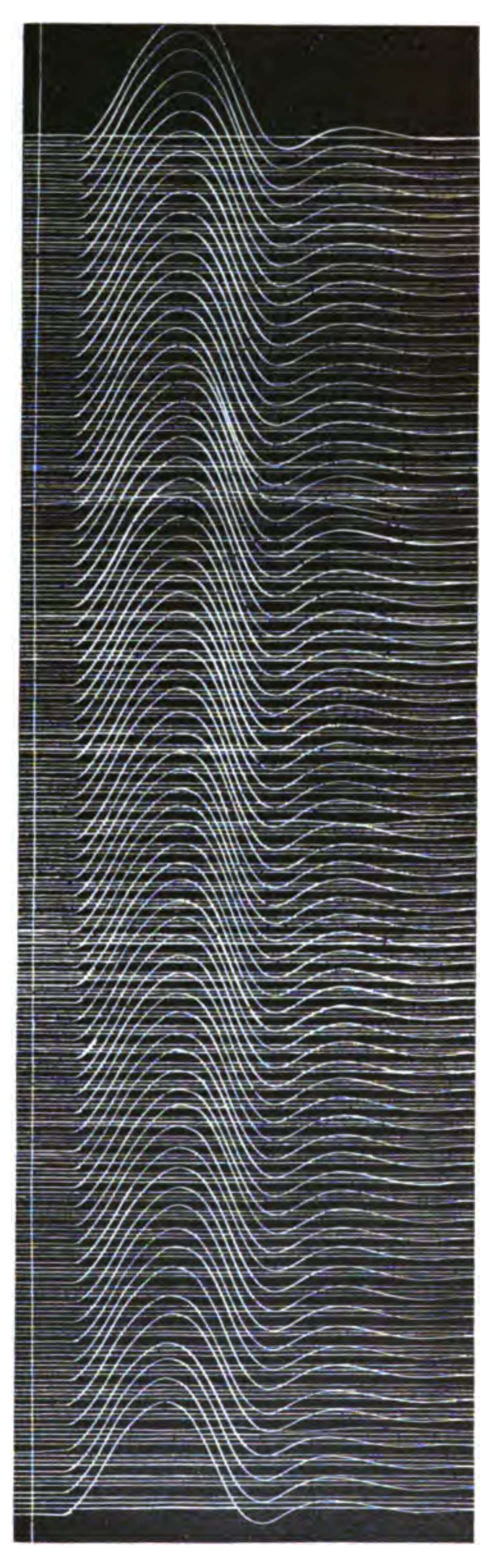


Fig. 1.

1) l. c. S. 517 u. 518.

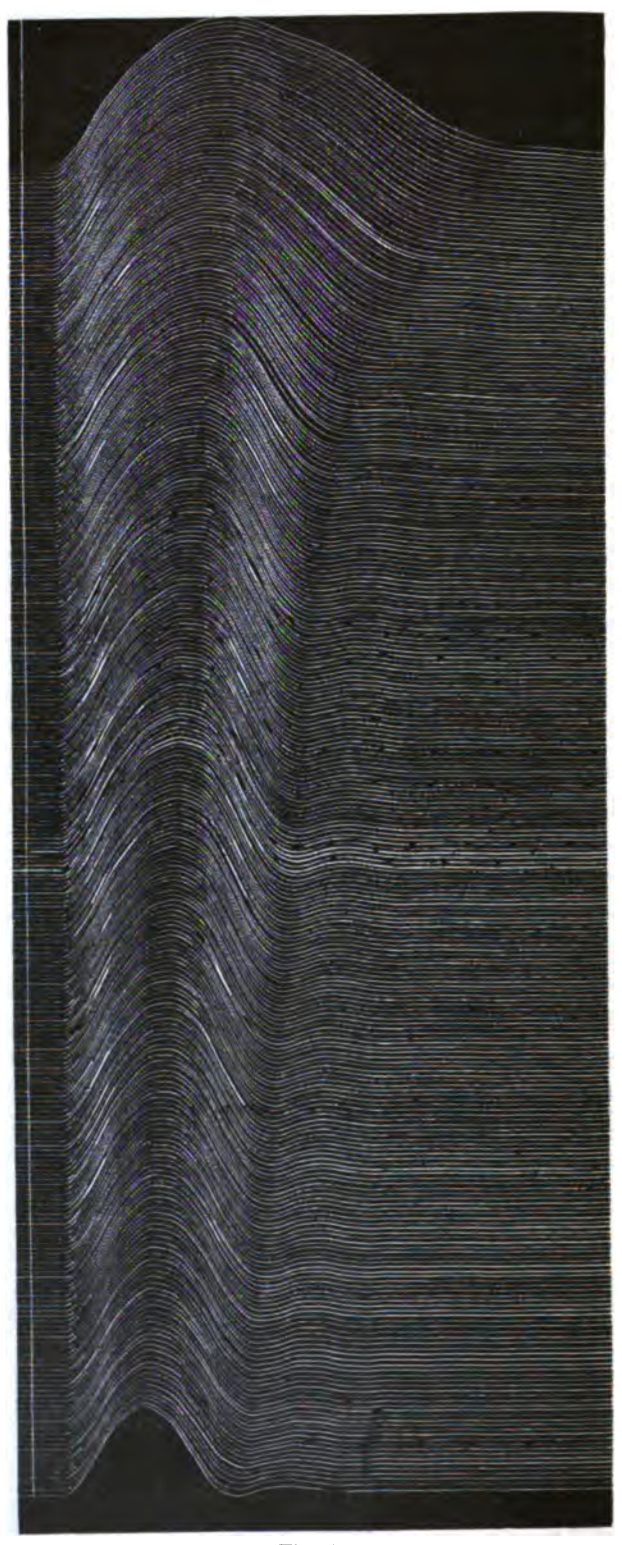


Fig. 1 a.

parate nach einstündiger Erholung angestellt wurde. Die Bedingungen waren die gleichen mit Ausnahme des Reizintervalls. Dieses betrug beim 2. Versuche nur 1,5 Secunden, wie bei meinen früheren Versuchen[1]). Man findet in Fig. 1 a die geschlossene Reihe der Zuckungen von der 1. bis zur 281. Zuckung verzeichnet.

Aus der Vergleichung beider Figuren ergibt sich, dass bei dem Intervalle von 6 Secunden zwischen den Einzelreizen die Zuckungsdauer bis zur 280. Zuckung nahezu erhalten ist, während bei dem Intervalle von 1,5 Secunden zwischen den Einzelreizen die Zuckungen schon in der ersten Dekade anfangen sich zu dehnen und die Dehnung der Zuckungsdauer dann continuirlich zunimmt bis zur 280. Zuckung. In beiden Versuchen tritt aber die Erscheinung der Treppe zu Tage.

Um nun diese Thatsachen weiter zu verfolgen und zu einer bequemen Art der Vergleichung von Kalt- und Warmblütermuskeln zu gelangen, ist es auch nothwendig, dass wir uns noch mit Zuckungsreihen des Froschmuskels beschäftigen, welche bei langsamem Trommelgang (eine Umdrehung in der Minute) angeschrieben werden und für welche das Reizintervall noch auf ein Drittel des bei den früheren Versuchen angewendeten Reizintervalles, also auf 0,5 Secunden, herabgesetzt wurde.

Ausserdem wurde aber auch anstatt meines rotirenden Schlüssels oder des doppelten Foucault-Rhumkorff'schen Unterbrechers, die bei den früheren Versuchen in Anwendung kamen, bei den neuen Versuchen für die Austheilung und Auslösung der Reize, als welche gleichwirkende Oeffnungsschläge dienen sollten, der Ludwig'sche Stromwähler mit einer später zu erwähnenden Modification angewendet.

Derselbe wurde von einem Wassermotor in Bewegung gesetzt. Die Fig. 3 (Taf. I) stellt einen solchen Versuch am Gastrocnemius des Frosches dar. Der Frosch war curaresirt. Der Rollenabstand betrug 30 mm, im primären Kreise befanden sich 2 Secundär-Elemente, die Belastung betrug 20 g.

Die Fig. 3 gibt, mit römischen Ziffern I—X bezeichnet, nur Gruppen aus der durch 425 Einzelreize in 0,5 Secundenpausen hervorgerufenen Erregungsreihe[2]) wieder, und zwar stellen dar:

---

1) l. c. S. 515 u. 516.

2) Ueber diese Bezeichnung l. c. S. 548 u. 549.

Die Gruppen	den Erfolg der Einzelreize
I.	1, 2, 3
II.	51, 52, 53
III.	101, 102, 103
IV.	151, 152, 153
V.	201, 202, 203
VI.	251, 252, 253
VII.	301, 302, 303
VIII.	351, 352, 353
IX.	401, 402, 403
X.	423, 424, 425

In den Gruppen I—IV sehen wir immer mehr gedehnte Einzelzuckungen unter der Erscheinung der Treppe. In Gruppe V erreicht wegen der noch mehr gewachsenen Zuckungsdehnung die Decrescente die Abscisse nicht mehr, ehe der folgende Reiz eintrifft. Es tritt schon ein grosszackiger, tief eingeschnittener clonischer Tetanus auf, und in den Gruppen VI—X folgen wegen noch weiterer Zunahme der Zuckungsdauer immer weniger tief eingeschnittene clonische Tetani. Mit dem Einzelreiz 425 wurde der Versuch beendigt, und ist am Ende der Gruppe X die Schlusslinie des dort vorhandenen clonischen Tetanus zu sehen, in den Gruppen VI, VII, VIII, IX sind die Abscissen verzeichnet, über welche sich der Tetanus erhebt, und ist der Ermüdungsabfall in diesen Gruppen zu sehen.

Ehe uns nun dieser Versuch zur Vergleichung mit einem unter ganz ähnlichen Bedingungen angestellten Versuch am Warmblütermuskel dienen soll, wollen wir noch einen weiteren Versuch am Froschgastrocnemius kennen lernen: eine Zuckungsreihe bei langsamem Trommelgang bei Reizintervall 6 Secunden, Fig. 4. Der Frosch war curaresirt, kleiner als der frühere, wieder betrug der Rollenabstand 30 mm. Im primären Kreise 2 Secundärelemente. Die Oeffnungsinductionsschläge waren wieder mit Ludwig's Stromwähler ausgelöst. Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel war mittelst eines stellbaren Windflügels herabgesetzt, sodass eine Umdrehung in 4 Minuten erfolgte. Die in Fig. 4 mit römischen Ziffern bezeichneten Gruppen I—VIII sind wieder aus der durch 595 Einzelreize hervorgerufenen Erregungsreihe ausgewählt, und zwar stellen dar:

Die Gruppen	den Erfolg der Einzelreize
I.	1, 2, 3, 4, 5
II.	101, 102, 103, 104, 105
III.	201, 202, 203, 204, 205
IV.	301, 302, 303, 304, 305
V.	401, 402, 403, 404, 405
VI.	501, 502, 503, 504, 505
VII.	588, 589, 590, 591, 592
VIII.	593, 594, 595

Während des Ablaufes dieser Zuckungsreihe mit dem langen Reizintervall, bei welchem die Treppe und der Ermüdungsabfall der Zuckungshöhen sich in der deutlichsten Weise ausgebildet haben, wie die Figur zeigt, hat sich nur eine ganz unbeträchtliche Vergrösserung der Zuckungsdauer ausgebildet. Um das Letztere zu demonstriren, ist die Gruppe VIII, also die drei letzten Zuckungen, mit welchen die Reihe schliesst, auf rascher bewegter Trommel, und zwar bei derselben Geschwindigkeit (eine Umdrehung in der Minute), wie die Erregungsreihe Fig. 3 angeschrieben. Dass diese drei letzten Zuckungen höher erscheinen als die ihnen unmittelbar vorausgehenden der Gruppe VII, hat seinen Grund in der Erholung, welche während der Zeit auftrat, die nothwendig war, um durch Entfernen des Windflügels und neues Anlaufen die Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel zu ändern.

Man vergleiche nun die geringe Vergrösserung der Zuckungsdauer bei der 593., 594. und 595. Zuckung der Reihe Fig. 4 mit dem grossen Anwachsen der Zuckungsdauer in der mit dem Intervalle von 0,5 Secunden zwischen den Reizen angeschriebenen Reihe Fig. 3.

Dort bedingt die Dehnung der Zuckung schon von der 200. Zuckung angefangen das Auftreten clonischer Tetani anstatt auf einander folgender Einzelzuckungen. Je grösser man aber das Intervall zwischen den Einzelreizen nimmt, desto mehr tritt die Dehnung der Zuckungen in der Zuckungsreihe zurück, während in entsprechend langen Reihen immer noch die Treppe und der Ermüdungsabfall der Zuckungshöhen zu beobachten ist.

Es kann also der Froschmuskel in verschiedener Weise ermüden. Im Zustande starker Verlängerung der Zuckungsdauer oder aber mit erhaltener oder nahezu erhaltener Zuckungsdauer, und ich denke, dass eine erneuerte Untersuchung der Ermüdungscurve mit sorg-

fältiger Rücksichtnahme auf diese Umstände nothwendig sein wird, wobei auch noch eine von mir[1]) schon früher beobachtete Thatsache berücksichtigt werden müsste, dass nämlich der Muskel nach vielen vorausgehenden Anstrengungen im erholten Zustande auch in Zuckungsreihen mit kurzem Intervalle seine Zuckungen nicht mehr so ausgiebig dehnt wie im frischen Zustande.

Hier will ich mich mit den vorläufig am Froschmuskel gemachten Erfahrungen begnügen und nun zu der Untersuchung der Warmblütermuskeln übergehen.

Ich habe vor Allem darnach getrachtet, an den Muskeln des Menschen ähnliche Versuche wie an den Frosch- und Krötenmuskeln anzustellen, und wollte dazu den Flexor digitorum sublimis und profundus benutzen, an welchen ja Mosso, wie erwähnt, mittelst des Ergographen unter Anwendung elektrischer Reizung schon eine Reihe von Versuchen angestellt hat.

Aber das gab ich bald auf, weil ich es für meine Zwecke bequemer fand, den Musc. abductor digiti minimi zu benutzen. Dieser eignet sich für unsere Versuche auch besser als der von Fick[2]) für isometrische Versuche benutzte M. abductor indicis, dessen grosse Eignung für die Einrichtung von Fick nicht in Abrede gestellt werden soll. Aber für mich handelte es sich darum, den Muskel, wie wir sehen werden, an einem in horizontaler Ebene sich bewegenden, um eine verticale Achse drehbaren Myographionhebel angreifen zu lassen, und dafür wählte ich lieber den oben angeführten Muskel, der bei Feststellung der Hand in horizontaler Lage einen sehr leicht zugänglichen und bequem liegenden empfindlichen Punkt für die elektrische Erregung besitzt.

Der Muscul. abductor digiti minimi entspringt bekanntlich am Erbsenbein und inserirt sich an der Grundphalange des kleinen Fingers. Er hat nach den Erfahrungen der Elektrotherapeuten[3]) am Ulnarrand der Hand einen Punkt, von welchem aus er indirect erregt werden, also ganz isolirt zur Contraction gebracht werden kann.

Die Länge des Muskels schätze ich bei mir auf 70 mm, die Verkürzung desselben bei maximaler Abduction des kleinen Fingers

1) l. c. S. 538.

2) l. c.

3) Vgl. u. A. Mayerhausen: Polychrome Wandtafeln etc. 2. Auflage. Taf. 2. Berlin 1895.

bei Feststellung der übrigen Finger beträgt keinen ganzen Millimeter, wird aber durch die Excursion des Fingers stark vergrössert.

Ich habe für die Untersuchung dieses Muskels die in der Fig. 2 (S. 220) dargestellte Anordnung getroffen. Auf den Tisch, auf welchem auch das Myographion steht, ist mittelst 12 cm hoher Füsse das auf den letzteren befestigte Brettchen *abc* von einer Länge von 24 cm und einer Breite von 15 cm angeschraubt. Auf dem Brettchen ist das walzenförmige Holzstück, welches bei *d* sichtbar ist, und auf welchem die Hand ruht, fest gemacht. Dieses Holzstück ist 10 cm lang und hat einen Durchmesser von 7 cm. An dasselbe ist die 6 cm Durchmesser und eine Dicke von 2 cm besitzende runde Holzscheibe *e* passend angeschraubt.

Das Holzstück *d* soll vorne von dem Zeige-, Mittel- und Goldfinger, hinten vom Daumen umfasst werden, sodass der Daumen und Zeigefinger mit ihren zugekehrten Rändern fest an die Scheibe *e* angelegt erscheinen; um die drei genannten Finger läuft das um das ganze walzenförmige Holzstück sammt der Scheibe liegende und an der hinteren Seite mittelst einer Zwinge spannbare feste Band *f*.

Die Theile *d*, *e* und *f* dienen, um die Hand in bestimmter Lage zu fixiren, wobei die das Holzstück *d* umfassenden Finger mit ihren Spitzen in einen passenden Ausschnitt des Brettes *abc* theilweise hineinreichen. Frei bleibt der kleine Finger, und zwar ruht derselbe in horizontaler Lage auf einer von der 6,3 cm hohen Säule *g* getragenen, 2 mm dicken runden Glasplatte *h* von 7,5 cm Durchmesser, aber, wie wir sehen werden, nicht unmittelbar. Der kleine Finger befindet sich in derselben Lage, die er auch in der horizontal hingelegten Hand mit geschlossenen Fingern hat und ist in dieser Lage, seiner Ruhelage, mit seiner inneren Seite an die auf der Glasplatte befestigte Widerlage *i* gehalten.

Ueber den Finger ist ein lederner Handschuhfinger gestülpt, welcher an der unteren Seite, entsprechend der Grenze zwischen 2. und 3. Phalange, einen runden Beinknopf von 12 mm Durchmesser mit nach unten gekehrter polirter convexer Fläche trägt.

Mittelst dieses Beinknopfes stützt sich der Finger auf die Glasplatte und schleift bei den Excursionen des Fingers dieser Knopf mit seinem Scheitelpunkte auf der Glasplatte.

An die Fingerwurzel ist der Faden angeschlungen, welcher den Finger mit dem Hebel *k* verbindet, der so eingerichtet ist wie bei dem von mir beschriebenen Myographion.

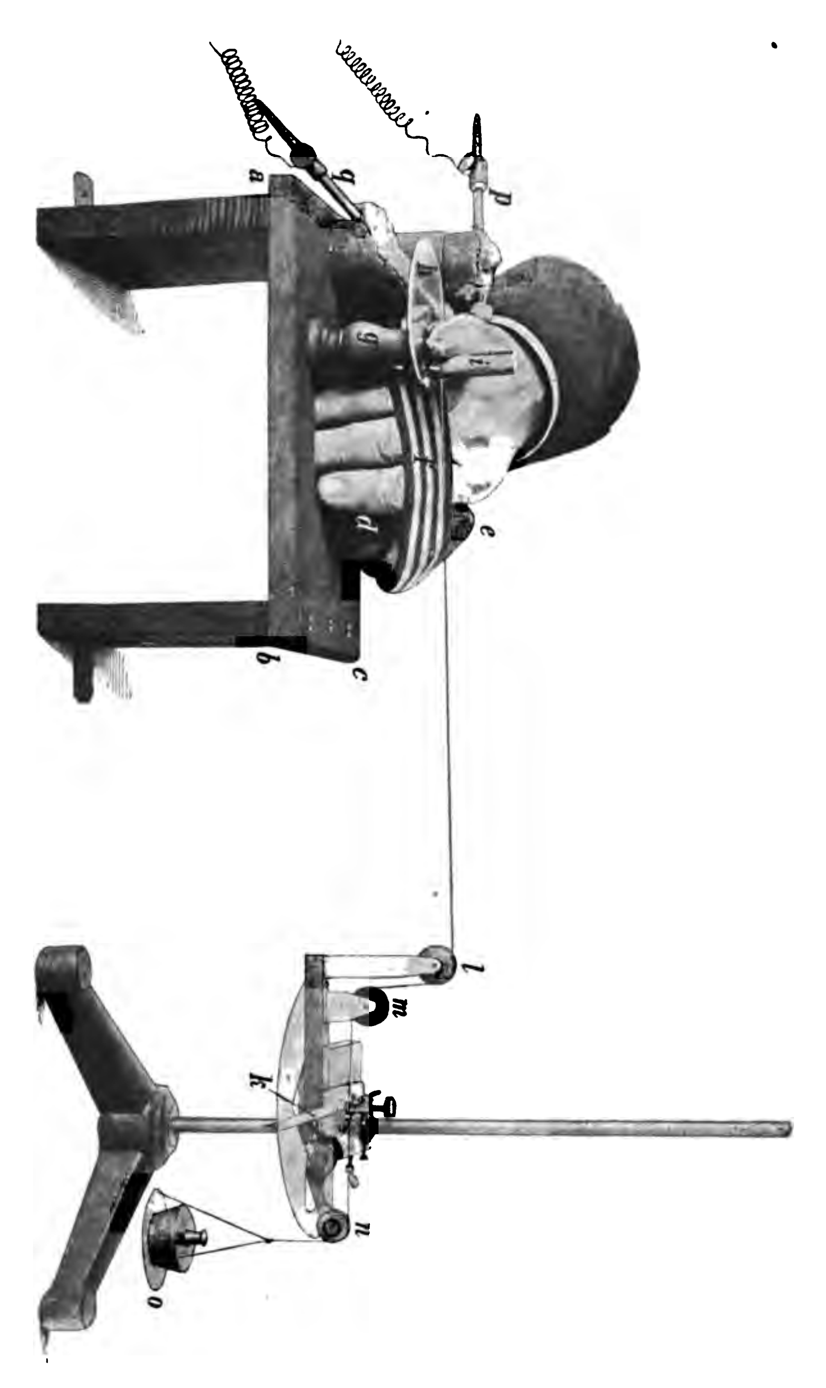


Fig. 2.

Ehe der Faden an den Hebel gelangt, läuft er zweimal gebrochen über die leicht drehbaren Röllchen *l* und *m*, welche die geradlinige Richtung des Fadens sichern und seitliche Ausschwingungen desselben verhindern sollen. An dem mit dem Hebel verknüpften, nach der entgegengesetzten Richtung über das Röllchen *n* laufenden Faden befindet sich ein Wageschälchen *o* aus Aluminium zur Aufnahme der belastenden Gewichte. Auf dem Brettchen *abc* sind auch fix angebracht die Elektroden (Duchenne'sche Stromgeber) *p* und *q*, von welchen die eine, *p*, frei, die andere, *q*, zum Theil von dem Glastische gedeckt gesehen wird. Die Elektroden sind an ihren knopfförmigen Enden mit nassem Waschleder überzogen.

An die Knöpfe wird während des Versuches der Ulnarrand der Hand immer so angelegt, dass sich der Punkt für die indirecte Reizung des Abductor digiti minimi stets in derselben Lage zwischen den nahe neben einander liegenden feuchten Elektroden befindet.

Ich hatte während der Zeit der Versuche, nachdem einmal die Lage der Elektroden ausgemittelt war, zwei mit Argent. nitric. geschwärzte Stellen an der Haut, um die Hand immer sofort in richtiger Lage an die Elektroden zu bringen.

Der Hebel zeichnete auf der um eine horizontale Achse drehbaren Trommel des Foucault'schen Regulators, der auch für die Versuche am Frosch und an der Kröte gedient hatte. Als Reizapparat diente das Schlitteninductorium mit einer Oeffnungsschläge in der secundären Spirale auslösenden Unterbrechungsvorrichtung im primären Kreise, wenn Einzelzuckungen bei raschem Trommelgang (1 Umdrehung in 1,5 Secunden) ausgelöst werden sollten.

Ich werde zuerst eine solche Curve vom M. abductor digiti minimi mittheilen. Sie ist dargestellt in Fig. 5 Tafel I und gleicht in allen wesentlichen Punkten einer Reihe von anderen solchen Curven, die ich erhielt. Der Rollenabstand betrug 30 mm. Es befanden sich 4 Secundärelemente im primären Kreise. Die Belastung betrug 40 g.

Alle Curven zeigen gleich Anfangs in der Decrescente die Nase, welche bei Frosch- und Krötenmuskeln erst auftritt, wenn die Zuckungsdauer in Zuckungsreihen beträchtlich gewachsen ist [1]).

Unsere vom menschlichen Muskel erhaltene Zuckungscurve ist nicht streng isotonisch, da unser Verfahren ebenso wenig als das

1) Vgl. Rollett l. c. Taf. VI u. VII.

Verfahren von Mosso mit dem Ergographen dem isotonischen Verfahren entspricht. Für die Zwecke, welche in dieser Abhandlung verfolgt werden, kommt aber die Anisotonie der Curven nicht als störend in Betracht. Uebrigens dürfte der Charakter der Curve von einer rein isotonischen nicht viel verschieden sein.

Unter diesen Vorbehalten theile ich mit, dass ich aus der sehr constanten Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel und deren Umfang für die latente Reizung eine Dauer von 0,030 Secunden, für die Crescente eine Dauer von 0,071 Secunden, für die Decrescente eine Dauer von 0,275 Secunden berechnet habe.

Der Muskel gehört also im unermüdeten Zustande zu den trägen Muskeln.

Die angeführten Werthe weichen beträchtlich ab von den Werthen, welche Edinger[1]) für die Zuckungscurve des menschlichen Muskels auf Grund von Verdickungscurven, die er von verschiedenen Muskeln (M. biceps brachii, adductor pollicis, flexor digit. sublim., rectus cruris und Wadenmuskeln) erhielt, angibt.

Darnach soll im Mittel die latente Reizung 0,01 Secunden dauern und die Zeit bis zum Maximum 0,04 Secunden betragen. Für die Dauer der Zuckung gibt Edinger aber auch viel grössere Werthe an, als wir sie am Abductor dig. minimi fanden, nämlich 0,287 bis 0,441 Secunden, woraus hervorgeht, dass der grösste Theil der Zuckungsdauer von der Decrescente ausgefüllt wird. Der letztere Umstand macht es sehr unwahrscheinlich, dass der Transmissionsmyograph, den Edinger anwendete, richtig functionirte. Es ist bei Edinger weder der Apparat, noch seine Anlegung, noch die Belastung, noch die Wirkung der Antagonisten, wie ich glaube, in hinreichender Weise auf Fehler geprüft worden.

Wenn wir uns an die von uns für den Zuckungsverlauf des Abductor digiti minimi bestimmten Werthe halten, dann würde der letztere Muskel des Menschen nicht so träge sein als die Muskeln der Fledermäuse[2]) im unermüdeten Zustande, aber träger als die Krötenmuskeln und die rothen Kaninchenmuskeln, und also viel träger als die unermüdeten Froschmuskeln und die weissen Kaninchenmuskeln.

---

1) Zeitschrift f. klin. Medic. von Frerichs etc. Bd. 6 S. 139.

2) Rollett, Anatom. und physiol. Bemerkungen über die Muskeln der Fledermäuse. Sitzungsber. d. Wiener Akademie Bd. 98 Abth. 3 S. 169.

Wenn die Zuckungen des Abductor digiti minimi des Menschen bei langsamem Trommelgang angeschrieben werden sollten, diente als Reizapparat das Schlitteninductorium in Verbindung mit dem Ludwig'schen Stromwähler in der Form, wie er in Hüfler's Abhandlung[1]) „Die abgestufte Reizung des Herzvagus" beschrieben ist. Ich habe aber die Unterbrechung für den primären Strom anders eingerichtet und nur für die Abblendung der Schliessungsschläge den Platincontact im secundären Kreise bestehen lassen. Zu dem Ende legte ich den Apparat um, sodass die Drehungsachse horizontal liegt. Das geht sehr leicht, wenn man drei den Apparat stützende Säulen auf einem Brett anbringt. Die auf den Zahnrädern mittelst der Elfenbeinkämme schleifenden Federn sollen nach unten dem Brette zugewendet liegen. Ich brachte dann an der den einen Elfenbeinkamm tragenden Spange ein kleines hufeisenförmiges Metallstück mittelst einer Schraube fest an. Dieses Stück trägt einen langen, nach unten reichenden, dicken Kupferdraht, an dessen Ende ein spitz auslaufendes, dreieckiges Platinblech angelöthet ist. Diesem langen Stift gegenüber befindet sich ein Quecksilbergefäss aus Glas auf mit Klemme versehenem Metallfuss. Das Gefäss ist mittelst Schraubengewinde im Metallfuss höher und niederer zu stellen, sodass die Quecksilberkuppe so auf die Platinspitze eingestellt werden kann, dass diese während der Drehung des betreffenden Zahnrades abwechselnd aus dem Quecksilber heraus und wieder in dasselbe hineingeht. Die Oberfläche des Quecksilbers ist mit Weingeist bedeckt.

Wie man sieht, bezweckt diese Vorrichtung, den Unterbrecher mit Platincontact, der beseitigt ist, durch einen Foucault'schen Quecksilberunterbrecher zu ersetzen, wie er speciell bei den König'schen Unterbrechungsgabeln angebracht ist.

Im secundären Kreise, wo der Platincontact sich im Nebenschlusse befindet und nur wie ein blendender Schlüssel wirkt, liess ich, wie schon gesagt, den Platincontact bestehen. Ich traf die Einrichtung mit dem Quecksilberunterbrecher im primären Kreise, nachdem ich mich überzeugte, dass dieser Unterbrecher viel verlässlicher arbeitet als der Unterbrecher mit Platincontact. Den Strom lieferten secundäre Elemente, über deren grosse Constanz ich mich schon früher geäussert habe.

Wurden tetanisirende Reizfrequenzen für bestimmt dauernde

---

1) Archiv f. Anat. u. Physiol. S. 295. 1889.

Tetani in bestimmten Intervallen angewendet, dann bediente ich mich dafür eines Quecksilberschlüssels in Form des von mir[1]) beschriebenen, automatisch wirkenden Metronomschlüssels, auch wieder im Nebenschlusse zur secundären Spirale. Viele Einrichtungen des Ludwig'schen Stromwählers sind bei dieser Benutzung desselben überflüssig. Ich werde vielleicht später einen nach obigen Principien wirkenden vereinfachten Stromwähler bauen lassen.

Die Fig. 6 stellt einen Versuch am Abductor digiti minimi dar. Derselbe wurde mit Inductionsöffnungsschlägen in Intervallen von 0,5 Secunden gereizt. Der Rollenabstand betrug 30 mm, im primären Kreise befanden sich 4 Secundärelemente, die Belastung betrug 40 g.

Die Fig. 6 gibt wieder nur die mit römischen Ziffern I—XVI bezeichneten Gruppen der durch 753 Einzelreize in den genannten Intervallen hervorgerufenen Zuckungsreihe, und zwar stellen dar:

Die Gruppen	den Erfolg der Einzelreize
I.	1, 2, 3
II.	51, 52, 53
III.	101, 102, 103
IV.	151, 152, 153
V.	201, 202, 203
VI.	251, 252, 253
VII.	301, 302, 303
VIII.	351, 352, 353
IX.	401, 402, 403
X.	451, 452, 453
XI.	501, 502, 503
XII.	551, 552, 553
XIII.	601, 602, 603
XIV.	651, 652, 653
XV.	701, 702, 703
XVI.	751, 752, 753

Dieser Versuch ist eine Erregungsreihe bei demselben Intervall der Einzelreize (0,5 Secunden), wie der Versuch Fig. 3 am Froschgastrocnemius, nur umfasst letzterer Versuch bloss den Erfolg von 425 Einzelreizen, während der Versuch Fig. 6 am Abductor digiti minimi des Menschen den Erfolg von 753 Einzelreizen umfasst.

Beim Frosch ist schon in der Gruppe III Fig. 3, entsprechend

1) l. c. S. 553.

der 101., 102., 103. Zuckung, die Verlängerung der Zuckungsdauer in die Augen fallend, und nimmt dann fortwährend zu und führt diese Zunahme zu den bei Beschreibung des Versuches Fig. 3 geschilderten Consequenzen (vgl. S. 216).

Beim Versuch am Menschen bleibt die Erregungsreihe bis zur 753. Reizung eine Zuckungsreihe. Ein Uebergang in Tetanus ist hier nicht zu bemerken. Bis zur XVI. Gruppe ist eine kaum merkliche Zunahme der Zuckungsdauer zu beobachten.

Es verhält sich also die Erregungsreihe mit kurzem Intervall beim menschlichen Muskel wie die Erregungsreihe mit grossem Intervall Fig. 4 vom Gastrocnemius des Frosches, insofern als letztere auch eine Zuckungsreihe bleibt; aber auch bei dem grossen Intervall zwischen den Einzelreizen beim Versuch am Froschmuskel ist schon in niedrigeren Gliedern der Reihe die Zunahme der Zuckungsdauer weit merklicher, als in viel höheren Gliedern der Zuckungsreihe vom Menschenmuskel.

Sowohl in der Erregungsreihe bei kurzem als auch bei langem Intervall am Froschmuskel, Fig. 3 und 4, ist die Erscheinung der Treppe und darauffolgend jene des Ermüdungsabfalles an den Zuckungshöhen zu sehen. Diese Erscheinungen treten auch, wie Fig. 6 zeigt, an der Erregungsreihe vom Menschenmuskel hervor; aber der Verlauf der Treppe und des Ermüdungsabfalles erscheinen nicht so regelmässig als am Froschmuskel, der, wie schon früher hervorgehoben, ebenso im blutdurchströmten Zustande untersucht wurde, wie der menschliche Muskel. Bei dem letzteren treten immer grössere oder kleinere Störungen während des Ablaufes der Treppe und des Ermüdungsabfalles ein dadurch, dass einzelne Zuckungen höher oder niedriger ausfallen als die benachbarten. Solche Störungen sind z. B. zu beobachten in Gruppe II Fig. 6, wo die mittlere Zuckung am höchsten ist, in Gruppe V, wo die erste beträchtlich höher ist als die beiden anderen, in Gruppe VII, wo die mittlere Zuckung hinter der ersten und letzten zurückbleibt, und ähnliche kleine Störungen wird man auch in Gruppe IX, X, XII, XIII und XV beobachten. Solche partielle Störungen des Ablaufes der Ermüdungscurve traten bei den ergographischen Versuchen von Mosso nicht nur in den willkürlich erregten Tetanusreihen der Fingerbeuger, sondern auch in den durch elektrische Reize hervorgerufenen auf[1]). Ich halte beide Erscheinungen für correspondirende.

1) Vgl. Mosso, l. c. S. 101 u. s. f.

Auch muss ich hier die Bemerkung einschalten, dass die Bedeutung der Treppe eine mehrfache ist und dass sie eine einheitliche Erklärung für alle Fälle nicht zulässt.

Wir haben noch über die Zuckungsdauer beim Froschmuskel und beim Muskel des Menschen, die wir für unsere Untersuchungen benutzten, Einiges zu bemerken. Der unermüdete Froschmuskel ist im Vergleiche mit dem Muskel vom Menschen ein flinker Muskel. Man vergleiche die Gruppen I, II, III Fig. 3 vom Gastrocnemius des Frosches mit den Gruppen I und II Fig. 6 vom Abductor digiti minimi des Menschen. Erst im Verlaufe der Ermüdung bei der Erregung in kurzen Intervallen wird der Froschmuskel viel träger als der Muskel vom Menschen, weil eben der erstere seine Zuckung dehnt, der letztere nicht; vergleiche die Gruppen IV, V und die folgenden in Fig. 3 vom Froschgastrocnemius mit den Gruppen III und IV und allen folgenden vom Abductor digiti minimi des Menschen in Fig. 6.

Schon aus dieser Vergleichung folgt, dass das abweichende Verhalten beider Muskeln nicht damit zusammenhängen kann, dass der eine im unermüdeten Zustande ein flinker, der andere ein träger Muskel ist.

Wir müssen aber dem noch hinzufügen, dass wir vom Krötengastrocnemius wissen, dass er sich, obwohl im unermüdeten Zustande viel träger als der Froschgastrocnemius, in Bezug auf die Aenderung der Zuckungsdauer ganz ähnlich verhält wie der Froschgastrocnemius, wie das ausführlich nachgewiesen ist in meiner citirten Abhandlung [1]). Dagegen verhalten sich sowohl die flinken als die trägen Muskeln des Kaninchens ganz ähnlich, wie der Abductor digiti minimi des Menschen.

Die Gruppen I, II und III, Fig. 7a, stellen Anfang, Mitte und Ende einer 366 Zuckungen umfassenden Zuckungsreihe des Musc. gastrocnemius (weiss) des Kaninchens vor, erhalten durch Oeffnungsschläge, welche in Intervallen von 0,5 Secunden auf einander folgten.

Die Gruppen I, II und III, Fig. 7b, Anfang, Mitte und Ende einer 454 Zuckungen umfassenden Zuckungsreihe des Musc. soleus (roth) des Kaninchens, erhalten durch Oeffnungsschläge, welche in Intervallen von 0,5 Secunden auf einander folgten.

Das Kaninchen war auf dem Czermak'schen Kaninchenhalter

---

1) Dieses Archiv Bd. 64 S. 521 u. f.

befestigt und durch Injection von 1 g Chloralhydrat anästhesirt. Der Rollenabstand betrug 60 mm, im primären Kreise befand sich ein Secundärelement. Die Elektroden wurden an das periphere Ende des durchschnittenen N. ischiadicus applicirt. Zu den Versuchen diente der Fig. 2 (S. 220) beschriebene Hebel. Die Belastung betrug 40 g.

Die Curven leiden an offenbaren Fehlern, die hauptsächlich davon herrühren, dass der ziemlich lange, von der Sehne des Muskels zum Hebel laufende Faden der nöthigen Führung entbehrte. Ich brachte die zwei Röllchen *l* und *m* erst an, nachdem früher schon eine Reihe von Versuchen, darunter auch der mitgetheilte, gemacht waren. Aber auch mit dem vervollkommneten Apparate stösst man bei den Versuchen mit Kaninchen auf grosse Schwierigkeiten, die aber hauptsächlich in dem Mangel eines passenderen Thierhalters, als es der Czermak'sche und andere angegebene sind, liegen.

Ich brach darum die Versuche am Kaninchen früher ab, als mir selbst lieb war; sie müssen erst mit einem neuen, passender eingerichteten Thierhalter wieder aufgenommen werden.

Trotz der erwähnten Fehler sind aber in den Curven der Fig. 7 a und b die bekannten Unterschiede der weissen und rothen Kaninchenmuskeln wohl zu erkennen. In Fig. 7 a I, II, III gibt sich der flinke weisse Muskel zu erkennen durch die geringe Entfernung des auf- und absteigenden Curvenschenkels im Fusspunkte und durch die ausgiebigen Elasticitätsschwankungen am Ende des absteigenden Schenkels. Davon wesentlich verschieden sind die Curven des rothen trägen Muskels in Fig. 7 b. Bei diesen ist die Entfernung des auf- und absteigenden Curvenschenkels im Fusspunkte viel grösser und am Ende des absteigenden Schenkels kommen viel kleinere Elasticitätsschwankungen vor.

Zu dem Schlusse, dass sich beim Kaninchen sowohl die flinken als auch die trägen Muskeln in Zuckungsreihen mit kurzem Intervalle (0,5 Secunden) ganz anders verhalten als die Frosch- und Krötenmuskeln, und dass sie in ihrem Verhalten den untersuchten Muskeln des Menschen ganz ähnlich sind, berechtigen diese Versuche vollkommen. Und wir wollen vorläufig nichts Weiteres daraus folgern. Durch das Verhalten der trägen Kaninchenmuskeln bin ich einigermaassen überrascht worden. Ich habe früher[1]) auf Grund von Verdickungscurven, welche ich vom rothen M. cruralis des

1) Ueber die Contractionswellen etc. Dieses Archiv Bd. 52 S. 226.

Kaninchens erhielt, geschlossen, dass auch die trägen Kaninchenmuskeln in Zuckungsreihen eine rasche Zunahme der Zuckungsdauer zeigen; das ist aber nicht der Fall, und muss die Zunahme der Dauer der Verdickungscurve, die ich am M. cruralis schon nach verhältnissmässig wenigen Versuchen wahrnahm, auf andere Ursachen, wahrscheinlich auf die Ausschaltung des Muskels aus dem Blutstrome und die damit zusammenhängenden Veränderungen, zurückgeführt werden.

Wir müssen uns nun fragen, welche Folgen hat das verschiedene Verhalten der Kalt- und Warmblüter-Muskeln bei fortgesetzter periodischer Erregung für den Fall der Anwendung tetanisirender Frequenzen der Einzelreize, also für den Tetanus.

Würde man annehmen, dass die Zuckungsdauer des unermüdeten Muskels in Erregungsreihen erhalten bleibt, und dass ein glatter Tetanus entsteht, wenn der folgende Reiz wirksam wird in dem Momente, wo in Folge des vorausgehenden Reizes der Gipfel der Zuckung erreicht ist, dann würde sich für die verschiedenen Muskeln die für einen glatten Tetanus in der Secunde nothwendige Reizfrequenz aus $x = \frac{1}{c}$ ergeben, worin x die gesuchte Frequenz, 1 eine Secunde und c die Dauer der Crescente bezeichnet.

Man erhielte so für den Gastrocnemius der Kröte[1])

$$x = \frac{1}{0,076} = 13,16,$$

für den Abductor digiti minimi des Menschen

$$x = \frac{1}{0,071} = 14,08,$$

für den Gastrocnemius des Frosches[2])

$$x = \frac{1}{0,035} = 19,04$$

als Reizfrequenzen für glatte Tetani. Für den genannten Muskel von Frosch und Kröte habe ich in der citirten Abhandlung gezeigt, dass längere Erregungsreihen bei viel niedrigeren Frequenzen als zum glatten Tetanus des unermüdeten Muskels nothwendig wären, wegen der zunehmenden Dauer der Einzelzuckungen nach kurzer Zeit in feinzackigen clonischen oder in glatten Tetanus übergehen, und

1) Vgl. dieses Archiv Bd. 64 S. 522.

2) Vgl. l. c. S. 523.

dass dasselbe auch geschieht, wenn man kürzer dauernde Erregungsreihen, durch regelmässige Pausen unterbrochen, in längerer Wiederholung fortsetzt.[1])

Ein Beispiel für die letztere Art der Erregung, bei welcher gleiche Oeffnungsschläge mit einer Frequenz zwischen 6 und 7 in der Secunde mittelst des Stromwählers zur Anwendung kamen und ungefähr eine Secunde dauernde Erregungsreihen durch etwas kleinere Intervalle getrennt gewonnen wurden, theile ich in Fig. 8 mit. Dem Frosche war der Plexus durchschnitten und wurde derselbe durch Umwicklung mit hydrophilen Binden immobilisirt. Die durchschnittene Achillessehne war durch einen kleinen Hautschlitz hervorgezogen und am Myographion befestigt, über der intacten Haut wurden auf den N. ischiadicus mit Waschleder überbundene kleine knopfförmige Elektroden feucht applicirt, nach Art des Verfahrens der Elektrotherapie. Der Muskel war mit 20 g belastet. Im primären Kreise befanden sich 2 Secundärelemente. Der Rollenabstand betrug 60 mm. Die mit römischen Ziffern I—VI bezeichneten Gruppen bedeuten die nachfolgend verzeichneten Erregungsreihen.

Gruppe	Erregungsreihen
I	1, 2, 3
II	30, 31, 32
III	45, 46, 47
IV	61, 62, 63
V	77, 78, 79
VI	92, 93, 94

Es ist in denselben der Uebergang von Einzelzuckungen in tief eingeschnittene grosszackige Tetani, dann in weniger tief eingeschnittene kleinzackige Tetani und endlich in Tetani mit feinen Zacken auf anfangs tief und dann weniger tief eingeschnittenen grossen Zacken zu sehen, wie es der fortwährend zunehmenden Dehnung der Zuckungen entspricht, die schliesslich so gross wird, dass der Muskel auch im grossen Intervall die Ruhelänge nicht erreicht. Mit der 94. Erregungsreihe wird der Versuch geschlossen, und jetzt kehrt, wie die Schlusslinie zeigt, der Muskel zur Ruhelänge zurück. Ausser diesem Versuche habe ich noch wegen des

1) l. c. S. 547 u. d. f.

Vergleiches mit den später mitzutheilenden Tetanusversuchen am Abductor digiti minimi des Menschen den Versuch Fig. 9 am Krötenmuskel hierher gesetzt.

Bei diesem Versuch kam der doppelte Foucault-Ruhmkorff'sche Interruptor im Nebenschluss zur primären Spirale nach Art der Helmholtz'schen Anordnung in Anwendung, und sind bei Reizfrequenz 6 abwechselnd nahezu gleich wirksame (aber nicht gleiche, wie die Figur zeigt) Oeffnungs- und Schliessungsschläge als Reize verwendet.

Das Thier war curaresirt, der Muskel mit 20 g belastet, im primären Kreise befanden sich 4 Secundärelemente, die Rollen waren ganz über einander geschoben.

So wurden am Muskel 13 Tetani erzeugt, von denen jeder nahezu eine Minute andauerte, und zwischen welchen nur eine Pause von 4—5 Secunden lag, die nothwendig war, um auf eine neue Abscisse einzustellen. Es sind in der Figur nur Anfang und Ende des I., VII. und XIII. Tetanus reproducirt; man sieht, wie durch fortgesetzte Dehnung der Zuckung der Tetanus endlich ein völlig glatter wird. Die Schlusslinien lassen die bis in den grossen Ermüdungsabfall der Curve XIII hinein andauernde Zunahme der Zuckungsdauer erkennen. In meiner schon oft angeführten früheren Abhandlung[1]) habe ich auch durch Versuche die schon von vornherein abzuleitende Thatsache erwiesen, dass man, wenn man bei der Erregung des Muskels von Reizfrequenzen ausgeht, welche schon am frischen Muskel (beim Frosche 16—20 in der Secunde) feinzackigen clonischen oder glatten Tetanus hervorbringen, nach einiger Zeit der Erregung auch mit Reizfrequenzen glatte Tetani erzeugen kann, die am unermüdeten Muskel nur Reihen von Einzelzuckungen geben.

Die Folgerungen, die ich dort andeutete, müssen aber auf die Kaltblütermuskeln eingeschränkt bleiben. Bei den Warmblütermuskeln führen wegen der Erhaltung der Zuckungsdauer tetanisirende Reizfrequenzen zu anderen Folgen als bei den Kaltblütermuskeln.

Dazu wollen wir nun übergehen. Wenn ich bei der früher beschriebenen Anordnung für die Versuche am Abductor digiti minimi, der mit 40 g belastet war, bei 4 Secundärelementen im primären Kreise, einem Rollenabstand von 30 mm und bei Reizfrequenz 6 im

1) l. c. S. 560.

der Secunde durch eine Secunde währende Erregungsreihen, die durch Secundenintervalle getrennt waren, verzeichnen liess, zeigten sich bis zur 514. Erregungsreihe immer nur Gruppen von Einzelzuckungen.

Steigt man mit der Reizfrequenz bei solchen Versuchen auf 8 in der Secunde, dann erhält man Bilder, wie sie in Fig. 10 I u. II dargestellt sind, also clonische Tetani, in deren aufsteigendem Theile eine Reihe von Zuckungen überlagert erscheinen. Die Gruppe I ist aus dem Anfange der Tetani, die Gruppe II der 62. und 63. Tetanus, und haben bis zum Ende des 63. Tetanus 504 Einzelreize gewirkt.

Steigt man mit der Reizfrequenz bei solchen Versuchen auf 11 in der Secunde, dann erhält man Bilder, wie in Fig. 10 III u. IV; die Gruppe III ist wieder aus dem Anfange der Tetani, die Gruppe IV der 61. und 62. Tetanus in der Reihe. Bis zum Ende des 62. Tetanus haben 682 Einzelreize gewirkt. Der Charakter des clonischen Tetanus bleibt wesentlich unverändert vorhanden, und sind in dem aufsteigenden Theil der Tetani alle Zuckungen überlagert.

Die Gruppen V und VI Fig. 10 sind Versuche wie die vorhergehenden bei Reizfrequenz 14 in der Secunde, V wieder am Anfange der Tetani VI der 31. und 32. Tetanus der Reihe; bis zum Ende des 32. Tetanus haben 448 Einzelreize gewirkt.

Die Gruppen Fig. 10, VII und VIII sind Versuche wie die vorhergehenden bei Reizfrequenz 16 in der Secunde, VII wieder am Anfange, VIII der 31. und 32. Tetanus. Bis zum Ende des 32. Tetanus haben 512 Einzelreize gewirkt. Man sieht dort durch Ueberlagerung hohe, fast glatte Tetani.

Wir finden die von Fick beobachtete Thatsache, dass die Summirung der Wirkung von auf einander folgenden Einzelreizen bei dem menschlichen Muskel weitergeht, als beim Froschmuskel, mit Rücksicht auf unsere bei Reizfrequenz 12 und 16 in der Secunde erhaltenen Tetani vom Froschmuskel[1]) bestätigt, und im Gegensatze zu den Frosch- und Krötenmuskeln (siehe Fig. 8 und 9) sehen wir den Charakter der clonischen Tetani bei Reizfrequenzen, welche unter jenen liegen, die im unermüdeten Muskel des Menschen einen glatten Tetanus geben, erhalten, Fig. 10, I und II und III und IV. Wenn man beim Muskel des Menschen einen glatten Tetanus erhalten will, muss man zu der dafür nothwendigen Reizfrequenz

1) l. c. S. 560.

steigen, und dieser Tetanus behält dann ebenfalls in langen Reihen seinen Charakter bei: Fig. 10, V und VI und VII und VIII.

Bei der Untersuchung der Muskeln anderer Warmblüter, nämlich der Fledermäuse, bin ich[1]) selbst auch schon in früherer Zeit darauf gestossen, dass diese Muskeln in langen Reihen von Tetanis bei verschiedenen Reizfrequenzen den der einzelnen Reizfrequenz entsprechenden clonischen Charakter nicht viel verändern, und dass sie viele Zuckungen überlagern. Und jetzt muss ich hinzufügen, dass das seinen Grund darin hatte, dass auch für diese Muskeln eine Ermüdungsdehnung der Zuckung nicht wesentlich in Betracht kommt.

Ich stellte bei den Muskeln der Fledermäuse bei Reizfrequenzen zwischen 6 und 24 in der Secunde von abwechselnden Oeffnungs- und Schliessungsinductionsschlägen acht Mal hinter einander Reihen von je 7 Tetani dar, deren jeder $2^1/_2$ Secunden währte, und die sich in Minutenpausen wiederholten.

Einen solchen Versuch an der Adductorengruppe des Schenkels von Vespertilio murinus findet man am genannten Orte S. 182 Taf. IV. Während der diesen Versuch umfassenden 56 Tetani wurden den Muskeln 1880 Einzelreize zugeführt, und ist in den sich folgenden Reihen der Ermüdungsabfall ein sehr auffallender und grosser.

Ich kehre nun zu dem Versuch am Abductor digiti minimi des Menschen zurück. Die Gruppe IX Fig. 10 hat eine besondere Bedeutung. Sie stellt die 158. und 159. Erregungsreihe in einem Versuche dar, der diese grosse Anzahl von durch Secundenintervalle getrennten, je eine Secunde dauernden Erregungsreihen umfasste. Die der 158. und 159. vorausgehenden Erregungsreihen waren bei Reizfrequenzen von 16 (33 Reihen), von 14 (32 Reihen), von 12 (31 Reihen), von 8 (33 Reihen) und von 5 in der Secunde (28 Reihen) erhalten, und betrug demnach am Ende der Erregungsreihe 159 die Zahl der erfolgten Einzelreize 1762.

Es zeigt sich in den Reihen IX Fig. 10 ein beträchtlicher Ermüdungsabfall und eine ganz unscheinbare Dehnung der Zuckung, denn es erreichen bei dieser niedrigen Reizfrequenz die Decrescenten der Einzelzuckungen nicht mehr ganz die Ruhelage.

Eine ganz geringe Dehnung der Zuckungsdauer scheint also

1) Anat. und physiol. Bemerkungen über die Muskeln der Fledermäuse. Sitzungsber. d. Wiener Akademie. M. n. Classe Bd. 97 Abth. 3 S. 169.

auch beim Warmblütermuskel nach der Wirkung sehr zahlreicher Einzelreize in sehr kleinen Intervallen aufzutreten, und ich möchte darauf aufmerksam machen, dass darauf wahrscheinlich auch die gedehnten Tetani zurückzuführen sind, welche Mosso bei Darstellung seiner Ermüdungscurven mittelst des Ergographen unter Anwendung elektrischer Reizung am Ende der Reihe der Tetani erhielt, aus deren Gipfel die Ermüdungscurve sich zusammensetzt.

Mosso führt an, dass er die Fingerbeuger vom Nerven aus in Intervallen von $1^{1}/_{2}$ Secunden durch $^{2}/_{3}$ Secunden tetanisch reizte. Dabei wurde der primäre Strom in der Secunde 58—60 Mal unterbrochen. Nehmen wir die letztere Unterbrechungszahl an, so werden bei dieser 120 abwechselnd gerichtete Oeffnungs- und Schliessungsschläge in der Secunde von der secundären Spirale erhalten. Bei dieser Reizfrequenz fallen auf einen $^{2}/_{3}$ Secunden dauernden Tetanus 80 Einzelreize. In einer Erregungsreihe von Mosso, in welcher die Dehnung der Dauer der Tetani sehr deutlich hervortritt [1]), sind 36 Tetani verzeichnet, während derselben empfing der Muskel indirect 2880 Einzelreize, und wären nur die Oeffnungsschläge wirksam gewesen, 1440 Einzelreize. Die von Mosso angewendete Reizfrequenz von 120 oder 60 elektrischen Reizen in der Secunde liegt weit über der für einen glatten Tetanus nothwendigen Frequenz elektrischer Einzelreize.

Ich will hier nur vorläufig auf die besprochene Erscheinung aufmerksam gemacht haben, die in anderen Versuchen Mosso's mit elektrischer Reizung wiederkehrt. Sie macht sich aber merkwürdiger Weise auch in willkürlich ausgeführten Tetanusreihen bei Mosso [2]) und Maggiora [3]) bemerklich. Auch Dr. Zoth zeigte mir eine Anzahl willkürlich mittelst des Ergographen erhaltener Tetanusreihen, an welchen, namentlich an solchen, die bei rascherem Trommelgang angeschrieben worden waren, die Dehnung der letzten Tetani deutlich hervortritt.

Es ist das auffallend und unerwartet, wenn man bedenkt, dass in solchen Reihen von willkürlichen Tetanis, die zur Feststellung der Ermüdungscurve nach Mosso dienen, viel weniger Einzelreize wirksam sind, als bei den Versuchen von Mosso mit tetanisirenden

1) l. c. S. 107 Fig. 18.

2) l. c.

3) Archiv f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. S. 191. 1890.

elektrischen Reizen. Ueber die Zahl dieser haben wir oben eine Bemerkung gemacht.

Beim willkürlichen Tetanus können wir nach den vielen Controversen, welche darüber geführt wurden (s. v. Kries[1]), Schäfer[2]), Canney und Tunstall[3]), Griffiths[4]), Herringham[5]), Harris[6]) u. A.), annehmen, dass etwa 10 Impulse in der Secunde den Muskel treffen. Für 36 willkürliche Tetani würden, wenn man annehmen würde, dass Dauer des Tetanus und Intervall so ausgetheilt wären, wie das Mosso für die elektrisch erhaltenen Reihen angibt, rund 240 Einzelreize, oder wenn nach dem Verfahren von Zoth und Pregl[7]) eine Secunde währende Tetani in Pausen von einer Secunde angeschrieben werden, würden für 36 Tetani 360 Einzelreize wirksam sein. Aber wenn auch die dargestellte Ermüdungscurve 50 oder 70 Tetani umfassen würde, wäre die Zahl der Einzelreize noch gering im Verhältniss zur Zahl der Einzelreize bei Mosso's Versuchen mit elektrischen Reizen.

Darum haben wir die früher erwähnte Thatsache auffallend und unerwartet genannt, und ist auch die grosse Uebereinstimmung von auf elektrischem und auf willkürlichem Wege gewonnenen Ermüdungscurven der menschlichen Muskeln bei Mosso sehr merkwürdig.

Hier ist eine weitere Untersuchung nothwendig, bei welcher man Lovéns'[8]) und v. Kries'[9]) Vermuthung, dass der physiologische Einzelreiz gedehnter sei und zu gedehnteren Einzelzuckungen führe als der elektrische Momentanreiz, wird im Auge haben müssen.

Am Schlusse dieser Abhandlung möchte ich noch folgende Bemerkungen machen.

Wir haben gesehen, dass die untersuchten Kaltblütermuskeln, und zwar in zunehmendem Grade in Zuckungsreihen mit kurzen Intervallen oder aber bei Anwendung tetanisirender Reize in einen Zustand gerathen, bei welchem die Zeit, welche nothwendig ist für die Aus-

1) Archiv f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. S. 337. 1884.
2) Journ. of physiol. Vol. 7 pag. 111.
3) Ebenda Vol. 6 pag. XVII.
4) Ebenda Vol. 9 pag. 39.
5) Ebenda Vol. 9 pag. 478.
6) Ebenda Vol. 17 pag. 315.
7) Dieses Archiv Bd. 62 S. 335 u. 379.
8) Centralblatt für die med. Wissenschaften. 1881.
9) l. c.

weichung der Muskeltheilchen aus ihrer Gleichgewichtslage und für die Rückkehr derselben in die Gleichgewichtslage immer mehr und endlich beträchtlich verlängert wird; dadurch unterscheiden sie sich von den Muskeln der untersuchten Warmblüter, bei welchen sich nur nach einer sehr grossen Zahl von Reizen mit sehr kurzem Intervalle oder nach langem Tetanisiren in ganz geringem Grade ein ähnlicher Zustand auszubilden scheint.

Wendet man bei den Muskeln der Kaltblüter in Zuckungsreihen grosse Intervalle an, so bildet sich aber jener Zustand ebenfalls nur mässig oder nicht aus. Es wird nothwendig sein, den Ermüdungsabfall für beide Fälle noch besonders zu studiren.

Funke hat jenen Zustand der Kaltblütermuskeln schon einmal mit dem einer zähen, teigartigen Masse, die mit grosser Trägheit äusseren Einwirkungen folgt, verglichen.

Ich halte es nicht für ausgeschlossen, dass man der stofflichen Aenderung, welche der Muskel beim Uebergang in diesen Zustand erleidet, mittelst geeigneter Untersuchungsmittel wird näher treten können.

Dann wird es auch an der Zeit sein, die Beziehungen zu erörtern, welche zwischen Verlängerung der Zuckungsdauer in Folge periodischer Erregung und Verlängerung der Zuckungsdauer nach Veratrinwirkung und der Contractur der Muskeln bestehen.

Erst dann wird auch die Grundlage für weitere theoretische Betrachtungen über die Verschiedenheit von Kalt- und Warmblütermuskeln gewonnen sein.

Für solche Arbeiten wäre Ruhe und Sammlung das Nothwendigste. Wie lange werden sie uns noch versagt sein?

Graz, im Februar 1898.

Erklärung der Tafel.

Tafel I.

Fig. 3. Erregungsreihe des Froschgastrocnemius durch Einzelreize, die in 0,5 Secunden dauernden Pausen auf einander folgen.

Fig. 4. Erregungsreihe des Froschgastrocnemius durch Einzelreize, die in 6 Secunden dauernden Pausen auf einander folgen.

Fig. 5. Zuckungscurve des M. abductor digiti minimi vom Menschen.

Fig. 6. Einzelzuckungen vom M. abductor digiti minimi vom Menschen bei langsamem Trommelgang.

Fig. 7. *a* Einzelzuckungen vom M. gastrocnemius (weiss) des Kaninchens; *b* Einzelzuckungen vom M. soleus (roth) des Kaninchens.

Fig. 8. Eine Secunde währende, in Secundenpausen folgende Erregungsreihen vom Froschgastrocnemius bei Reizfrequenz 6 in der Secunde.

Fig. 9. Lange Erregungsreihen (Tetani) von dem Gastrocnemius der Kröte bei Reizfrequenz 6.

Fig. 10. Eine Secunde währende, in Secundenpausen folgende Erregungsreihen vom M. abductor digiti minimi des Menschen bei Reizfrequenz 8, 11, 14, 16 und 5 in der Secunde.

Die Figuren 1, 1 a und 2 sind im Texte enthalten.

(Aus dem physiologischen Institut zu Königsberg i. Pr.)

Ueber die Entwicklung des Elektrotonus.

Von

L. Hermann und Dr. **O. Weiss**, Assistent am Institut.

(Mit 8 Textfiguren.)

I. Vorbemerkungen und Reizversuche.

Von

L. Hermann.

Ueber die Geschwindigkeit, mit welcher der Elektrotonus sich im Nerven entwickelt, existirt eine ziemliche Reihe von Arbeiten, zwischen deren Ergebnissen ein anscheinend grosser Widerspruch besteht. Die bis zum Jahre 1879 erschienenen Arbeiten habe ich in meinem Handbuch der Physiologie kurz zusammengestellt[1]). Sie führten zu dem 1854 von Helmholtz, wenn auch auf Grund eines ihn nicht vollständig beweisenden Versuches, formulirten Satze, dass „der elektrotonische Zustand nicht merklich später eintritt, als der ihn erregende Strom". Ganz besonders rechtfertigte diesen Satz ein 1871 mitgetheilter Versuch von Gruenhagen, welcher die Wirkung des Elektrotonus auf die Erregbarkeit zur Grundlage hatte[2]).

Kurze Zeit nach dieser Zusammenstellung erschien eine Arbeit von Tschirjew[3]), welche sowohl für die physiologischen wie für die galvanischen Erscheinungen des Elektrotonus eine relativ langsame Ausbreitung über den Nerven behauptete, etwa von der Geschwindigkeit der Erregungswelle. Die dann aus meinem Laboratorium in Zürich hervorgegangene Arbeit von v. Baranowski und Garrè[4]), in deren Einleitung ich eine Anzahl von Fehlerquellen

1) Handbuch der Physiologie Bd. 2 Abth. 1 S. 161—163. Leipzig 1879.

2) Dieses Archiv Bd. 4 S. 550, 1871.

3) Archiv f. (Anat. u.) Physiol. 1879. S. 525 und 543.

4) Dieses Archiv Bd. 21 S. 446, 1880.

in der Tschirjew'schen Methodik aufgedeckt habe[1]), kam bezüglich der Entwicklung des Anelektrotonus, soweit er durch Herabsetzung der Erregbarkeit sich kundgibt, wieder zu dem von Gruenhagen erhaltenen, von Helmholtz formulirten Ergebniss.

Fast gleichzeitig fand Bernstein[2]) mit seinem Rheotom für den galvanischen Ausdruck des Elektrotonus eine Ausbreitungsgeschwindigkeit, welche sogar geringer ist als diejenige der Erregung. Endlich schliesst neuerdings Asher[3]) aus Versuchen, welche er an-

1) Asher sagt in seiner unten citirten Arbeit (S. 484), die zweite Tschirjew'sche Methode (Versuche mit Differential-Rheotom und Capillar-Elektrometer) hätte ich nicht beanstanden können. Das Gegentheil ist der Fall; ich habe in der Einleitung zur Arbeit von v. B. und G. (S. 453) ausdrücklich gesagt: „Das Gleiche (nämlich, dass sie aus angegebenen Gründen nichts beweisen) gilt natürlich von den Repetitionsversuchen mit dem Differential-Rheotom, über welche sich sonst noch Manches bemerken liesse.“ Heute halte ich eine ausführliche Kritik dieser Tschirjew'schen Versuche noch mehr für entbehrlich als damals. Die Einwände, welche Asher selbst gegen sie erhebt, sind noch nicht die erheblichsten, welche zu machen sind. — Ich kann nicht umhin, bei dieser Gelegenheit einen neuen höchst grotesken Angriff von Tschirjew zurückzuweisen, welcher sich früheren ähnlichen Leistungen dieses Autors würdig anreiht (in der von ihm inspirirten Arbeit von Kurtschinsky, Arch. f. [Anat. u.] Physiol. 1895. S. 15). Ueber die Quererregbarkeit der Nerven und Muskeln sind von Luchsinger, Tschirjew, Fick jun. und von meinen Schülern Albrecht & Meyer, Giuffrè verschiedene Arbeiten nach der sog. Trogmethode ausgeführt worden. Die älteste, von Luchsinger, wurde 1869 unter meiner Leitung ausgeführt, aber nicht publicirt; ich hielt damals die Trogmethode für neu. Bei den Literaturstudien zum Handbuch fand ich, dass sie schon 1838 von Matteucci angewandt war, und wahrte dessen Priorität sowohl im Handbuch (Bd. 2 Abth. 1 S. 80), als in der ersten und einzigen Publication, welche ich über diesen Gegenstand veranlasst habe (dies Archiv Bd. 21 S. 462, 1880). Tschirjew macht nun mir den Vorwurf, ich hätte mir diese „Priorität angeeignet“, weil ich sage, dass sie mir bei Luchsinger's Arbeit, welche gar nicht publicirt wurde, unbekannt war! Er glaubt mir das anscheinend nicht! Und dabei bin ich der Einzige, welcher Matteucci's Priorität überhaupt erwähnt hat; auch Tschirjew selbst erwähnt sie in seiner Arbeit mit keinem Wort, und hat sie vielleicht erst durch mich erfahren. Wenn Jeder diese Priorität kennen musste, weil sie in du Bois' thier. Elektricität erwähnt ist, so wäre der Einzige, welchem man eine Verletzung derselben vorwerfen könnte, Tschirjew selbst, welcher noch dazu bei du Bois-Reymond arbeitete!

2) Vorläufige Mittheilung Monatsber. d. Preuss. Akad. 1880. S. 186, ausführlich Archiv f. (Anat. u.) Physiol. 1886. S. 197.

3) Zeitschr. f. Biologie Bd. 32 S. 473, 1895.

lässlich einer anderen Frage angestellt hat, dass die die Erregbarkeit herabsetzende Wirkung des Elektrotonus sich etwa so schnell wie die Erregung über den Nerven ausbreite.

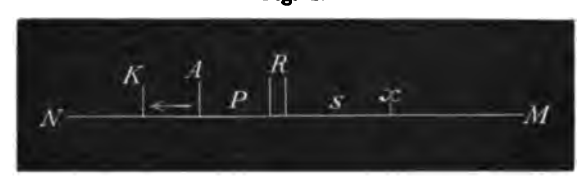
Neben diesen äusserst widerspruchsvollen thatsächlichen Ergebnissen sieht man in den angeführten Arbeiten vielfach den Kampf zwischen den verschiedenen Auffassungen über die Natur des Elektrotonus durchblicken, und die Frage nach der zeitlichen Entwicklung desselben wird meist als entscheidend für die Theorie angesehen. Namentlich behauptet Asher (a. a. O. S. 488), der Umstand, dass die Fortpflanzung der galvanischen Wirkungen des Elektrotonus langsamer gefunden worden ist, als diejenige der physiologischen, sei „vom Standpunkt der Kernleiterhypothese ein paradoxes und unerwünschtes Resultat".

Dies ist ein Irrthum, schon deshalb, weil eine ungleich schnelle Entwicklung beider Wirkungen des Elektrotonus für jede andere Theorie desselben genau in demselben Grade „paradox und unerwünscht" sein müsste, wie für die Kernleitertheorie, da man doch unmöglich annehmen kann, dass es zwei Arten des Elektrotonus gibt, welche gar nichts mit einander zu thun haben. Vor Allem aber hat Asher gänzlich übersehen, dass für die physiologische Wirkung des Elektrotonus ein unvergleichlich geringerer Grad des letzteren genügt, als für nachweisbare galvanische. Schon Pflüger fand, dass polarisirende Ströme von der Schwäche des Nervenstromes genügen, um die Erregbarkeit extrapolar nach dem bekannten Gesetze zu verändern, während solche Ströme selbst mit dem empfindlichsten Galvanometer noch keine elektrotonischen Wirkungen geben. Sehr wohl also kann an einer entfernten extrapolaren Stelle zu einer gegebenen Zeit der Elektrotonus schon so weit angewachsen sein, um die Erregbarkeit zu beeinflussen, aber nicht so weit, um auf das Galvanometer zu wirken.

Die Versuche vollends, welche Asher zu unserer Frage beibringt, sind für die Entscheidung derselben unzureichend. Er will wie v. Baranowski & Garrè feststellen, ob ein gleichzeitig mit der Reizung einer Nervenstrecke oberhalb derselben geschlossener aufsteigender Strom die Wirkung der Reizung unterdrücken kann, complicirt aber seinen Versuch dadurch, dass er nicht, wie jene Autoren, eine freie Nervenstrecke, sondern den Muskel reizt, allerdings mit solchen Stromstärken, dass er sicher sein zu können glaubt,

dass nicht die Muskelsubstanz selbst, sondern nur die intramusculären Nerven erregt werden. Der Umstand, dass diese sehr bedenkliche Complication durch eine andere von Asher gestellte Frage herbeigeführt wurde, rechtfertigt nicht, dass er aus solchen Versuchen eine Entscheidung herleiten zu können glaubt für eine principielle Frage, welche schon am einfachsten Object, nämlich am Nervenstamm, streitig ist. Allein Asher scheint sogar seine Versuche für besonders werthvoll zu halten, weil „alle früheren Untersuchungen" auf die damals noch unbekannte Thatsache keine Rücksicht nehmen konnten, dass die Erregung im Nervenendorgan einen Aufenthalt von 0,001—0,003 Secunde erleidet. Sie müsse also hier vom Anelektrotonus, selbst bei Polarisirung des Nerven nach der Reizung, überholt werden können, wenn wirklich der Elektrotonus überall gleichzeitig auftritt. Beruhigend ist nun, dass Asher selber zu dem Resultat kommt, dass ein während jener Latenzzeit in das Endorgan hereinbrechender Anelektrotonus die in ihm latirende Erregbarkeit nicht zu unterdrücken vermag. Ich muss gestehen, dass ich das auch niemals erwartet hätte, sondern dass Asher's Fragestellung auf einer ganz neuen Auffassung des Begriffs Anelektrotonus beruht, über deren Unzulässigkeit ihn schliesslich seine eigenen Versuche belehren. Anelektrotonus hat bisher stets als ein Zustand gegolten, in welchem die von ihm ergriffene Nervenstelle weniger aufnahmsfähig ist für äussere und Continuitätsreize; es war also kein Anlass, eine Unterdrückung einer in ihr schon im Gange befindlichen Veränderung beliebiger Natur zu erwarten. Hiermit schwindet aber auch der vermeintliche Fortschritt gegenüber „allen früheren Untersuchungen" des Gegenstandes.

Fig. 1.



„Ueberholung" oder richtiger Abfangung der Erregung durch den Anelektrotonus ist also bestenfalls nur möglich, falls eine Stelle früher in Anelectrotonus verfällt, als die Erregungswelle sie erreicht. Es wird nicht überflüssig sein, die zeitlichen Verhältnisse schematisch darzustellen. *NM* sei der Nerv des bei *M* liegenden Muskels, *A* die Anode und *K* die Kathode des polarisirenden Stromes, und *R* eine im Abstande *p* von *A* liegende Reizstelle, ferner *v* die „Fort-

pflanzungsgeschwindigkeit" des Elektrotonus, und ϑ die Zeit, um welche die Reizung später folgt als die Schliessung des polarisirenden Stromes. Dann wird, damit die Reizung in R unwirksam wird, mindestens sein müssen

$$\vartheta \doteq \frac{p}{v};$$

ist $v = \infty$, so muss der Grenzwerth von ϑ Null sein, welches auch der Abstand p ist, wenn nur der Elektrotonus im Abstande p noch stark genug ist. Das Letztere ($v = \infty$) haben Gruenhagen und wir behauptet, während Tschirjew und Asher v aus den Grenzwerthen von ϑ zu ermitteln suchten.

Soll nun aber nicht die Reizung in R verhindert werden, sondern die schon ablaufende Erregung an einer unterhalb R im Abstande s liegenden Nervenstelle x gleichsam abgefangen werden, so muss offenbar, wenn wir mit u die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung und mit ϑ' das erforderliche Intervall zwischen Schliessung und Reizung bezeichnen, mindestens sein

$$\vartheta' = \frac{p+s}{v} - \frac{s}{u},$$

jedoch wird eine Abfangung überhaupt nur möglich sein, wenn x noch im Bereich des schon im Beginn wirksamen Anelektrotonus liegt, d. h. wenn $p + s$ nicht grösser ist als 10—12 mm. Innerhalb dieses Bereiches wird sowohl p wie s auf den Grenzwerth von ϑ' Einfluss haben. Da es jedoch für den Effect ganz gleichgültig ist, an welchem Punkte x diese Abfangung stattfindet, wenn derselbe nur noch im Bereich des Nervenverlaufes liegt, so ergibt sich, dass als Strecke s, deren Länge auf den Grenzwerth von ϑ Einfluss hat, schlechthin zu betrachten ist der Abstand zwischen Reizstelle R und Faserende. Tschirjew hat durch einen unbegreiflichen Irrthum das Faserende mit dem Eintritt des Nervenstammes in den Muskel verwechselt (a. a. O. S. 540); er variirte bei constantem p den Abstand R bis zum Muskel zwischen 4 und 30 mm und fand hiervon keinen Einfluss auf den Grenzwerth von ϑ'. Wenn er hieraus schliesst, dass eine Abfangung unmöglich ist, also v nicht viel grösser sein kann als u, so ist dies eben nur die Folge des oben angegebenen Irrthums. Ein Einfluss von s auf ϑ' könnte erst dann hervortreten, wenn A weniger als 12 mm von den Nervenendorganen entfernt würde, was schlechterdings nicht ausführbar ist.

Im Uebrigen zeigt die Formel für ϑ', dass dasselbe für $v = \infty$ den negativen Werth $-s/u$ annimmt, d. h. dass Abfangung schon eintreten muss, wenn der polarisirende Strom um so lange nach der Reizung geschlossen wird, wie die Erregung braucht, um die Strecke s zu durchlaufen, wobei für s etwa 12 mm minus p zu rechnen sind. v. Baranowski & Garrè haben einige Male in ihren Versuchen am Fallrheotom, in welchen p constant 10 mm betrug, ein negatives ϑ' beobachtet, aber hierauf mit Recht keinen grossen Werth gelegt, weil die Erscheinung nicht regelmässig (wofür Asher schreibt „nur sehr unregelmässig") eintrat. Das ist auch völlig begreiflich, da für $s = 2$ mm der negative Werth von ϑ' höchstens 0,00008 Secunde betragen konnte. Hiermit ist die Frage der Abfangung durchaus nicht, wie Asher meint, im negativen Sinne entschieden; vielmehr sind weitere Versuche mit geringeren Längen von p wünschenswerth, welche ich ausführen zu lassen beabsichtige, sobald mir ein zuverlässiger Apparat (Fall- oder Pendelrheotom) zur Verfügung steht.

Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Abfangung stattfinden kann, ist übrigens nicht sehr gross, nicht etwa, wie Tschirjew und Asher meinen, wegen zu geringer Ausbreitungsgeschwindigkeit des Elektrotonus, sondern aus einem Grunde, welcher Beiden entgangen ist. Offenbar ist nämlich der Continuitätsreiz, welchen bei der Leitung ein Nervenelement dem folgenden mittheilt, sehr viel mächtiger und wirksamer als unsere künstlichen äusseren Reize. (So erklärt sich fast Alles, was manche Autoren für die Trennung der Erregbarkeit und Leitungsfähigkeit beigebracht haben.) Der Anelektrotonus wird also enorm viel höhere Werthe erreichen müssen, um die Continuitätserregung, d. h. die Leitung zu unterbrechen, als um die Erregung zu verhindern. Dies bestätigt sich schon dadurch, dass die starke Phase des Zuckungsgesetzes, welche auf der Leitungsunterbrechung an der Anode für die Schliessungserregung beruht, sehr viel stärkeren Anelektrotonus erfordert, als die Verhinderung der Reizung an einem extrapolaren Punkte (man bedenke, dass im ersteren Fall das Maximum des Anelektrotonus, nämlich derjenige des Poles selbst, im zweiten ein relativ sehr kleiner Betrag zur Wirkung gelangt). Hieraus folgt, dass, wenn in x eine Abfangung zu Stande kommen soll, die Strecke $p + s$ ungemein klein sein müsste, nicht 10—12 mm, wie oben angenommen, sondern vielleicht 2—3 mm oder noch weniger.

Asher's eigentliche Resultate sind nun folgende. Ein am unteren Nervenende angebrachter aufsteigender Strom kann die direct auf angegebene Weise ausgelöste Muskelzuckung nur dann verhindern, wenn er mindestens 0,0007 Secunden vor der Reizung geschlossen wird. Er argumentirt nun etwa folgendermaassen: Die mittlere Länge der intramusculären Fasern im Gastrocnemius schätzt er mit Bernstein zu 15 mm, wozu noch 1—4 mm Abstand der Anode vom Nerveneintritt kommen. Setzt man für ϑ 0,0007 Secunden, für p 19 mm, so ergibt sich für v ein Werth von etwa 26 m, also pflanzt sich der Elektrotonus etwa so schnell fort, wie die Nervenerregung. Das klingt zwar sehr einleuchtend, hält aber näherer Prüfung nicht Stand. Wenn wirklich die mittlere intramusculäre Faserlänge 15 mm beträgt, so ist doch die Hälfte der Fasern kürzer und zum Theil sehr viel kürzer. Warum wird denn die Zuckung, auf deren vollständige Aufschreibung Verf. grossen Werth legt, nicht schon dann wesentlich vermindert, wenn diese kürzeren Fasern in Anelektrotonus verfallen? Das ist so auffallend, dass eine Vermuthung nahe liegt, welche, wenn sie richtig ist, leider Asher's Versuchen ihren Werth nehmen würde. Asher leitet den erregenden Inductionsstrom mittels Femur und Achillessehne durch den Gastrocnemius und wählt minimale Stromstärken, weil ja Alles darauf ankommt, dass nur die intramusculären Nerven und nicht die Muskelsubstanz gereizt wird; zudem würden nicht minimale Reize durch den Anelektrotonus überhaupt nicht unterdrückt werden. Welches ist nun der erregbarste Theil des Muskels? Asher scheint zu meinen, die intramusculären Verzweigungen; ich behaupte aber, der erregbarste Theil ist die Eintrittsgegend des Nervenstammes. Denn hier hat erstens wegen der Verjüngung des oberen Gastrocnemiusendes überhaupt der Strom die grösste Dichte; die auf die Nervenfasern bezogene Dichte ist aber hier enorm viel grösser als irgendwo sonst, weil hier alle Fasern im gleichen Querschnitt liegen, während das Verhältniss zwischen nervösem und musculärem Theil des Gesammtquerschnittes nach unten beständig abnimmt. Wenn nun Asher's Erregungen nur den Nervenstamm nahe der Eintrittsstelle betrafen, so ist es verständlich, dass so leicht alle Fasern auf einmal in Anelektrotonus verfallen konnten. Und hier kommt das zweite Bedenken. Asher meint, die intramusculären Nervenfasern bis an ihr Ende und sogar die Nervenendorgane in Anelektrotonus versetzt zu haben, und stützt sich auf die bekannten schönen Versuche von

Kühne. Aber diese sind nicht am Gastrocnemius, sondern am Sartorius angestellt, an welchem die mittlere intramusculäre Nervenlänge, wegen der Eintrittsweise des Nerven, zu höchstens $^1/_4$ der Muskelfaserlänge, d. h. für sehr grosse Frösche zu höchstens 10 mm zu veranschlagen ist. Es ist mir daher sehr zweifelhaft, dass Asher wirklich den ganzen, bis 25 oder 30 mm langen intramusculären Nervenverlauf im Gastrocnemius in wirksamen Anelektrotonus versetzt hat; am Nervenstamm wenigstens wird man in solchen Abständen vergebens elektrotonische Wirkungen suchen, obwohl hier die Verhältnisse offenbar viel günstiger sind[1], geschweige denn so rasch nach der Schliessung des polarisirenden Stromes.

Asher wird gegen die obige Vermuthung vielleicht einwenden, dass der von ihm gefundene Werth von ϑ ganz unverständlich wäre, wenn es sich um Erregung und Anelektrotonus des eintretenden Nervenstammes selbst handelte; es würde dann vollends eine äusserst geringe „Fortpflanzungsgeschwindigkeit“ des Elektrotonus herauskommen, die Versuche also noch mehr gegen mich sprechen. Es wird seine Sache sein, dies aufzuklären und meinen Einwand, falls er unberechtigt ist, zu widerlegen. Ich selbst bin der Meinung, dass Zeitmessungen mit einer Schliessung durch eine Spitze, welche über eine am Feder-Myographion angebrachte Quecksilberrinne streift, überhaupt unzulässig sind, da das Quecksilber durch das Losschiessen unvermeidlich erschüttert werden muss. Diese Vorrichtung erscheint mir ebenso unglücklich wie das Unternehmen, die Frage der Etablirung des Elektrotonus, statt am Nervenstamm, an der intramusculären Nervenausbreitung entscheiden zu wollen.

Immerhin waren mir Asher's Angaben Veranlassung, die Versuche von v. Baranowski & Garrè, so weit es ohne Fall-Rheotom möglich war, mit allen erdenklichen Vorsichtsmaassregeln zu wiederholen. Dies geschah im Herbst 1896, und zwar mit einer sehr solide gebauten Helmholtz'schen Wippe; der Schliesscontact, welcher die Gestalt eines um eine horizontale Achse mit Reibung drehbaren Winkelhebels mit Elfenbeingriff hat, drückt eine Platinkuppe auf eine an dem Wippenhebel angebrachte Platinplatte nieder,

1) Vgl. meine Arbeit in diesem Archiv Bd. 7 S. 301, 1873, welche Asher vielleicht entgangen ist.

auch der gleichzeitig sich öffnende Ruhecontact des anderen Wippenendes besteht aus Platinkuppe und Platinplatte. Der Wippenhebel besteht aus Elfenbein und ist sehr kurz und stark; seine Dimensionen sind: Gesammtlänge 58 mm, gegenseitiger Abstand der beiden Contactpunkte, auf den Hebel projicirt, nur 49 mm, Breite und Dicke je 7 mm. Die Messingbeschläge, welche die Contactstücke tragen, nehmen jederseits etwa 20 mm der Hebellänge ein, so dass nur ein sehr kurzes Stück (18 mm) von reinem Elfenbein übrig bleibt. Die Feder, welche den Ruhecontact unterhält, ist sehr kräftig; da sie auf der Seite des Schliesscontactes von unten gegen den Hebel drückt, so ist durchaus kein Anlass zur Durchbiegung des dicken, durch Messing verstärkten, kurzen Elfenbeinprisma. Das Grundbrett der Wippe ist ein für alle Mal auf einer Holzzwinge befestigt, wie bei dem bekannten du Bois'schen Schlüssel.

Um die trotzdem zu erwartende äusserst kurze Zeit zwischen Schliessung des einen und Oeffnung des anderen Contactes genau kennen zu lernen, habe ich in Gemeinschaft mit Herrn Dr. Weiss dieselbe direct gemessen, wie es schon in unseren Züricher Versuchen mit der damaligen Wippe geschehen ist. Während aber damals das Fallrheotom zur Bestimmung diente, benutzten wir, wie zum gleichen Zwecke Helmholtz in seiner berühmten Arbeit von 1850, die Pouillet'sche Methode. Das Nähere über diese Versuche hier anzugeben, kann unterbleiben; sie ergaben als Maximum dieser Zeit, bei demselben kräftigen, aber nicht schleudernden Aufdrücken 0,00007 oder $^{1}/_{14800}$ Secunde.

In meinen Versuchen lag der Ischiadicus, von nichts weiter getragen, den Thonspitzen von vier unpolarisirbaren Röhrenelektroden an; Femur und Gastrocnemius waren am du Bois'schen Zuckungstelegraphen[1]) befestigt, dessen Grundbrett auf der Glasplatte der geräumigen feuchten Kammer stand. Beschläge innerhalb der feuchten Kammer wurden sorgfältig vermieden; der Glassturz wurde nur während des Versuches selbst aufgesetzt. Die polarisirenden

1) Dieser ursprünglich nur zu Vorlesungsdemonstrationen construirte Apparat ist auch für Untersuchungen sehr zweckmässig, wenn man nicht graphisch verfahren will. Ich habe ihn etwas modificirt, indem ich die hölzerne Schlittenvorrichtung zur Verschiebung des Fahnenträgers beseitigt habe, welche den Raum des Grundbretts, auf welchen Elektrodenträger u. dgl. zu stehen kommen, unnöthig beengt; statt dessen ist die nöthige Verschiebung in den Metalltheilen selbst vorgesehen.

Thonspitzen waren 8—10 mm von einander entfernt, die erregenden nur 2—3 mm von einander.

Zum Polarisiren diente eine auf Glasuntersätzen stehende Kette von 8—10 Zinkkohleelementen, zum Reizen die Oeffnungsströme eines Schlitteninductoriums ohne Eisenkern, mit 1 Daniell. Die Inductionsströme waren aus nahe liegendem Grunde aufsteigend gerichtet, so dass sie dem ebenfalls aufsteigenden polarisirenden Strome ihre Kathode zuwendeten. Im Kreise des Inductionsstromes befand sich ein Schlüssel als Nebenschliessung, um ohne Reizung sich zu überzeugen, dass der polarisirende Strom keine Schliessungszuckung gibt. Im Kreise des polarisirenden Stromes befand sich ausser dem Schliesscontact der Wippe noch ein gewöhnlicher Schlüssel *S*, so dass die Reizung mit und ohne Polarisation erfolgen konnte.

Nachdem ohne Polarisation der Rollenabstand aufgesucht war, welcher beim Niederdrücken der Wippe Minimalzuckung gibt, wurde der Versuch mit Polarisation, d. h. bei geschlossenem Schlüssel *S* wiederholt, und wenn jetzt die Zuckung ausblieb, mehrere Male hinter einander der Versuch bei offenem und geschlossenem Schlüssel *S* wiederholt. Dann wurden die Versuche bei immer grösserem Abstande zwischen durchflossener und Reizstrecke wiederholt, bis die Polarisation die Zuckung nicht mehr verhinderte.

Das Resultat war stets zweifellos, dass bis zu 12 mm Abstand die Zuckung sicher verhindert wurde; über diesen Abstand hinaus häufig, aber nicht mehr sicher. Am Schluss wurde bei einem Abstande von nur 8 mm oder weniger die Zwischenstrecke unterbunden; jetzt zeigt sich niemals eine anelektrotonische Wirkung.

Der Anelektrotonus ist also in einem Abstande von 12 mm zu einer Zeit, welche höchstens 0,00007 Secunde nach der Schliessung beträgt, hinreichend stark entwickelt, um die Erregung zu unterdrücken. Wenn es eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Elektrotonus gäbe, so müsste dieselbe mindestens 171 m betragen.

Die gleichen Versuche hat auf meine Veranlassung Herr Dr. Weiss im Sommer 1897 wiederholt, und dabei Unterdrückung der Zuckung bis zu einem Abstande von 18 mm gefunden; hiernach müsste die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Elektrotonus mindestens 257 m betragen[1]).

---

1) Erwähnt sei noch, dass ich versucht habe, die Handbewegung an der Wippe durch eine selbstthätige Fallvorrichtung zu ersetzen. Das Institut besitzt noch den Apparat, mit welchem Helmholtz seine berühmten

Auch den ursprünglichen Gruenhagen'schen Versuch habe ich im Herbst 1896, und zwar mit verbesserten Hülfsmitteln, wiederholt. Er besteht bekanntlich darin, den polarisirenden aufsteigenden Strom zugleich als inducirenden zu benutzen, und mit dem Schliessungsinductionsstrom zu reizen; die Wippe fällt hier ganz fort. Gegen dies Verfahren habe ich den Einwand erhoben, dass die Schliessungsinduction durch die Selbstinduction, und falls ein Eisenkern vorhanden ist, auch durch diesen verzögert wird. Um diesen Einwand zu beseitigen, benutzte ich als Inductorium zwei Rollen von sehr kurzem, dickem Draht (Thermorollen), natürlich ohne Eisenkern; von der primären Rolle wurde sogar nur die halbe Drahtlänge benutzt. Hier kann die Selbstinduction sicher keine, irgendwie in Betracht kommende Verzögerung bewirken. Da der primäre Kreis die Nervenstrecke mit ihrem hohen Widerstande enthält, muss man, um hinreichende Induction zu erhalten, eine Nebenschliessung zur Nervenstrecke haben; hierzu diente in meinen Versuchen ein inductionsfreier Rheostatwiderstand von 4000 Ohm; bei dieser Nebenschliessung war der Strom in Nerven stark genug, um keine Schliessungszuckung zu geben. Der Schlüssel, welcher zur Reizung und Polarisation zugleich diente, und natürlich zwischen primärer Rolle und Nebenschliessung sich befinden musste, war ein einfacher sog. Punktschlüssel oder auch der Schliesscontact einer festgestellten Helmholtz'schen Wippe. Damit man die Minimalzuckung ohne Polarisation beobachten kann, muss ein gewöhnlicher Schlüssel zwischen Nebenschliessung und Nerv angebracht sein. Tschirjew hat (a. a. O. S. 529) in Gruenhagen's Versuch einen Fehler aufzudecken geglaubt, welcher denselben „völlig werthlos" mache; da nämlich im Falle der Reizung mit Polarisation der inducirende Strom einen Zweig an den Nerven abzugeben habe, müsse die Induction und also die Reizung mit Polarisation schwächer ausfallen als ohne Polarisation, die Unterdrückung der Zuckung sei also begreiflich. Ich habe schon in der Einleitung zur Arbeit von v. Baranowski & Garrè gezeigt, dass der Widerstand des

Superpositionsversuche in Königsberg angestellt hat. Er besteht aus 2 Helmholtz'schen Wippen, deren Schliesscontacte nach einander durch einen von geringer Höhe herabfallenden Klotz geschlossen werden. Aber diese Schliessung erwies sich als etwas schlotternd, denn die starken, sonst nur Oeffnungszuckung gebenden Ströme lieferten scheinbare Schliessungszuckung. Das Vorhaben musste daher aufgegeben werden.

Nerven viel zu gross ist, um für diesen Versuch eine Rolle zu spielen, habe jedoch meine Mitarbeiter veranlasst, den Einwand dadurch zu beseitigen, dass sie zur Reizung ohne Polarisation den Nervenzweig nicht öffneten, sondern mit einem anderen Nervenzweige von gleichem Widerstande durch Umlegen einer Wippe vertauschten. Diese Vorsicht war, wie ich jetzt erkenne, ganz überflüssig, denn Tschirjew's Einwand ist ein grober physikalischer Fehler; ganz im Gegentheil kann der Strom in der primären Spirale durch das Hinzukommen des Nervenzweiges höchstens verstärkt, aber nie geschwächt werden, da der Nerv keine Nebenschliessung zur Spirale oder zur Kette, sondern nur zu einem Theile der Leitung bietet, also den Gesammtwiderstand vermindert. Wenn trotzdem die Polarisation die Zuckung unterdrückt, so ist der Versuch gerade um so mehr beweisend; durch die soeben erwähnte Vorsichtsmaassregel fällt freilich diese Vergrösserung der Beweiskraft fort.

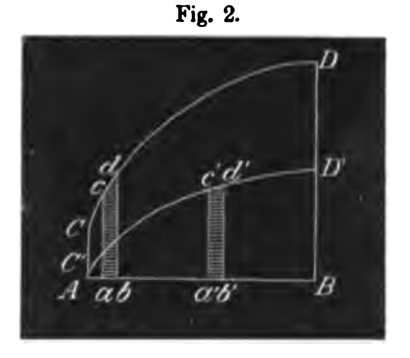
Meine Versuche nach diesem Verfahren ergaben sichere Unterdrückung der Zuckung bis zu einem Abstande von 12 mm. Wurde ein gewöhnliches Inductorium verwendet, so ging die Unterdrückung bis 15 mm Abstand. Das erstere Resultat besagt, dass der Elektrotonus in 12 mm Abstand zu einer unmessbar kleinen Zeit nach der Schliessung bereits in wirksamer Grösse vorhanden ist.

Völlig einwandsfrei sind übrigens die Versuche meiner Züricher Mitarbeiter am Fallrheotom (a. a. O. S. 559 f.); sie beweisen, wenn auch nur bis 10 mm Abstand, das Nichtvorhandensein einer Ausbreitungszeit so unwiderleglich, dass Asher's Bemerkung, er kenne den Apparat nur aus der Zeichnung, könne sich daher nicht über ihn äussern, gar nichts bedeutet. Seine Bemerkung, „die Fehler sollen kleiner sein als 0,0001 Secunde," beruht auf einem Missverständniss; er hat die Fehlergrenze der Wippenversuche irrthümlich auf das Fallrheotom bezogen, bei welchem sie unvergleichlich niedriger liegt.

Dass es nicht gelingt, die Unterdrückung in grösseren Abständen als 10—18 mm zu beobachten, rührt ganz einfach davon her, dass in grösserer Entfernung der Anelektrotonus wenigstens im Anfangsstadium hierzu nicht stark genug ist, und nicht von einer erforderlichen Ausbreitungszeit. Schon für beständige polarisirende Ströme ist es nicht immer leicht, in so grossen Entfernungen noch einen Einfluss auf die Erregbarkeit nachzuweisen.

Asher glaubt mir noch einen Widerspruch nachweisen zu können, indem er aus meinem Lehrbuch die Art citirt, wie ich das Ausbleiben der Anodenwirkung der Inductionsströme erkläre; ich sage daselbst, das Schwinden des Anelektrotonus könne nur dann erregen, wenn derselbe Zeit hatte, sich zu entwickeln. Asher übersieht hierbei, dass ein Anelektrotonus, der stark genug ist, damit sein Schwinden errege, weit stärker sein muss, als wenn es sich darum handelt, nur die Erregbarkeit für Minimalreize herabzudrücken; wie schon bemerkt, genügt zu letzterer Wirkung schon die Fernwirkung eines Stromes von der Ordnung des Nervenstromes, während so schwache Ströme niemals Oeffnungszuckung geben, wie das erste Stadium des Zuckungsgesetzes beweist. Asher wird mir doch nicht die Meinung zuschreiben wollen, dass ein Inductionsstrom überhaupt keinen Anelektrotonus macht, während ja schon die ersten Versuche du Bois-Reymond's die elektrotonisirenden Wirkungen der Inductionsströme erwiesen haben. Immerhin wird es besser sein, wenn ich an der betreffenden Stelle des Lehrbuches vor zu entwickeln das Wort „hinreichend“ hinzufüge, um ähnliche Missverständnisse zu verhüten.

Fig. 2.



Ich komme nun zu den mit grosser Umsicht angestellten Versuchen von Bernstein, gegen deren thatsächliche Ergebnisse sicher nichts einzuwenden ist. Ausserdem hat Boruttau[1]) vor Kurzem diese Versuche mit ziemlich demselben Resultate wiederholt. Trotzdem ist leicht zu zeigen, dass der von Bernstein aus seinen Versuchen abgeleitete Schluss hinsichtlich der „Fortpflanzungsgeschwindigkeit“ des Elektrotonus nicht haltbar ist. Eine genauere Zergliederung der Versuchsbedingungen lässt hierüber keinen Zweifel.

Das Rheotom schliesst den polarisirenden Strom bei jedem Radumgange für eine gewisse Zeit, *AB* Fig. 2, und wir wollen vor der Hand, wie ich es behaupte, annehmen, dass der elektrotonische

---

1) Dies Archiv Bd. 58 S. 49, 50, 1894.

Strom, welches auch die Entfernung zwischen durchströmter und abgeleiteter Strecke ist, im Momente der Schliessung bereits vorhanden ist, und in der Curve *CD* ansteigt. Die Ableitung desselben zum Galvanometer erfolgt jedes Mal während der kurzen Zeit *ab*, deren Abstand von *A* in den Versuchen verändert wird. Die Ablenkungen entsprechen also der Fläche *abdc*. Die Zeit *ab* betrug in den meisten Versuchen 0,004—0,008 der Umlaufsdauer des Rades, d. h. der Elektrotonus, wie er zur Zeit *ab* entwickelt war, konnte nur mit $^1/_{250}$—$^1/_{125}$ seiner Intensität auf das Galvanometer einwirken. Die erste sichtbare Ablenkung konnte also begreiflicher Weise nicht in dem Momente auftreten, wo der Elektrotonus begann, sondern erst in dem Momente, wo $^1/_{250}$—$^1/_{125}$ seiner Intensität hinreichend war, um eine erkennbare Ablenkung hervorzubringen. Die am Rheotom bestimmten Intervalle *Aa* stellen also nicht die Zeit von der Schliessung des polarisirenden Stromes bis zum Beginn des Elektrotonus dar, sondern nur sehr hoch liegende obere Grenzwerthe dieser Zeit.

Jetzt werde der Versuch an einer entfernteren Nervenstelle angestellt. Der Elektrotonus erreicht hier bekanntlich überhaupt nur viel geringere Höhen; seine Curve sei *CD'*. Jetzt wird das Intervall, welches nöthig ist, damit wieder dieselbe minimale Ablenkung am Galvanometer erscheint (welche der Fläche *a'b'd'c'* entspricht), natürlich bedeutend grösser ausfallen als vorher; sie wird *Aa'* sein. Der scheinbare Beginn des Elektrotonus muss also um so später nach der Schliessung eintreten, je grösser der Abstand zwischen durchflossener und abgeleiteter Strecke ist.

Jede Bestimmung der „Fortpflanzungsgeschwindigkeit" des Elektrotonus durch Rheotomversuche ist also illusorisch; die gefundenen Werthe sind sämmtlich viel zu gering und nicht einmal als untere Grenzwerthe zu benutzen. Vollends ist es unmöglich, diese Fortpflanzungsgeschwindigkeit nach dem bewährten Helmholtz'schen Verfahren zu ermitteln, nämlich unter Elimination aller Localverzögerungen aus der Vergleichung von zwei Versuchen, in welchen nur die vom Vorgange zu durchlaufende Streckenlänge verschieden ist. Denn gerade dies Verfahren hat zur Voraussetzung, dass der Vorgang in beiden verglichenen Fällen absolut congruent ist und nur durch die Fortpflanzungszeit zeitlich verschoben. Bei verschiedener Entfernung der abgeleiteten Strecke ist der Elektrotonus selbst von durchaus verschiedener Grösse, und in unserm Schema würde man

die Zeit *aa'* ganz unrichtiger Weise als Fortpflanzungszeit erhalten, während letztere in Wirklichkeit, wie dem Schema zu Grunde gelegt, Null ist.

Wenn es noch eines Beweises für die Richtigkeit dieser Betrachtung bedürfte, so kann man ihn Bernstein's Versuchen selbst entnehmen. Auffallender Weise ergibt sich nämlich die Thatsache, dass der Anelektrotonus durchgängig weit früher nach der Schliessung des polarisirenden Stromes zur Erscheinung kommt, als der Katelektrotonus, wie folgende Zusammenstellung zeigt (die Zeitangaben bedeuten Bruchtheile der Umdrehungszeit des Rheotoms):

Anelektrotonus.			Katelektrotonus.		
Versuchs-Nr.	Abstand mm	Zeit des Beginns	Versuchs-Nr.	Abstand mm	Zeit des Beginns
1	15	0,0080	1	15	0,0160
2	5	0,0010	2	10	0,0150
„	17	0,0030	4	10	0,0240—0,0360
4	13	0,0105	5	13	0,0190 (0,0220)
„	4	0,0050	6	13	0,0270—0,0370
5	13	0,0060	7	15	0,0260
6	15	0,0100	8	9,5	0,0185
7	13	0,0090	9	12	0,0170
8	5	0,0040	10	10	0,0150
„	13	0,0080	11	16	0,0230
9	12	0,0090	„	10	0,0200
„	4,5	0,0030	„	4,5	0,0169
10	15	0,0080	12	18	0,0265
„	4	0,0040	14	12	0,0210—0,0260
11	3	0,0010			
„	8	0,0050			
12	9	0,0040			
13	4	0,0025			
„	8	0,0080			

Bernstein wird vielleicht diese auffallende Thatsache so erklären wollen, dass der Anfang des Katelektrotonus mehr durch die negative Schwankung verdeckt wird, als der des Anelektrotonus; aber er hebt gerade hervor, dass der Katelektrotonus nach dem vollständigen Ablauf der negativen Schwankung noch gar nicht beginnt, sondern erst eine Zeit vergeht, in welcher der Magnet auf Null bleibt. Vielmehr scheint mir die einfachste Erklärung, dass der Katelektrotonus überhaupt bedeutend schwächer ist als der Anelektrotonus, also auch später die nöthige Höhe erreicht, um $^1/_{200}$ seiner Ablenkung erkennbar zu machen.

Bernstein stützt sich nun aber weit weniger auf die absoluten Zeiten, nach welchen der Elektrotonus erkennbar wird, als auf die Bemessung dieser Zeiten nach dem Auftreten der negativen

Schwankung am Querschnittsende, resp. der ersten Phase des Actionsstromes bei Ableitung von zwei Längschnittpunkten. Im Katelektrotonus ist die negative Schwankung weit früher da, als die elektrotonische Ablenkung, ja vor der letzteren ganz abgelaufen; also, schliesst er, breitet sich der Elektrotonus weit langsamer über den Nerven aus, als die Erregung ihn durchläuft.

Auch dieser Schluss ist unrichtig. Die Erregung läuft *wellenförmig und mit unverminderter Intensität* über den Nerven ab, während der Elektrotonus ein Zustand ist, welcher an die nächste Umgebung der durchflossenen Strecke gebunden bleibt, und mit der Entfernung sehr rasch schwächer, ja Null wird. Der Vorgang der negativen Schwankung verschiebt sich, wenn man vom Abstand 0 bis zum Abstand 15 mm übergeht, zeitlich um $^1/_{1800}$ Secunde, d. i. nur $^1/_{16}$ der im Durchschnitt $^1/_{114}$ ($^1/_{80}$—$^1/_{200}$) Secunde dauernden Durchströmungszeit AB, während im Laufe dieser Abstandsvergrösserung der Elektrotonus mächtig sinkt, also sein scheinbarer Anfang viel stärker sich verschiebt, als die in ihrer Grösse stets gleich bleibende negative Schwankung. Es ist also begreiflich, dass bei grossen Abständen letztere längst abgelaufen sein kann, ehe der Elektrotonus erkennbar wird.

Alles, was ich aus *Bernstein's* Versuchen schliessen kann, beschränkt sich hiernach auf das Ergebniss, *dass der Elektrotonus an jeder Stelle nicht gleich anfangs in voller Grösse entwickelt, sondern in Zunahme begriffen ist*, worauf ich in den Schlussbemerkungen zurückkommen werde. *Bernstein's* Verdienst ist es, diese wichtige Thatsache, welche *du Bois-Reymond* nur vermuthet hatte, zuerst nachgewiesen zu haben. Dass der Elektrotonus nach der Schliessung eine Zeit braucht, um überhaupt zu beginnen, und dass diese Zeit mit der Entfernung der abgeleiteten Strecke zunimmt, beweisen dagegen die Versuche *nicht*, und sie widersprechen keineswegs der Möglichkeit, dass der Elektrotonus schon im Momente der Schliessung überall vorhanden ist. Dies Letztere ist nun aber durch das empfindlichste Reagens auf die ersten Anfänge des Elektrotonus, nämlich die Erregbarkeitsänderung, direct und von Neuem bewiesen.

Bernstein's Versuche sprechen aber in einem sehr wesentlichen Punkte sogar direct *gegen* die Lehre von einer Fortpflanzungszeit des Elektrotonus. Wenn nämlich eine solche existirte, so müsste der Elektrotonus nach der Oeffnung des polarisirenden

Stromes offenbar genau ebenso lange in voller Höhe fortbestehen, wie er nach der Schliessung Zeit gebraucht hat, um zu beginnen. Dies sagt auch Bernstein (S. 208), ja in einem Versuche ist sogar der Katelektrotonus nach der Oeffnung noch gestiegen. In der schematischen Figur 3 (Tafel IX) zeichnet er sowohl für Kat- wie für Anelektrotonus die Curve demgemäss. Aber das Verhalten ist in Wirklichkeit ein ganz anderes. Mit Ausnahme des einen katelektrotonischen Beispieles, in welchem es sich überhaupt nur um winzige Ablenkungen handelt, sieht man in allen Versuchen, welche sich überhaupt über den Oeffnungsmoment hinaus erstrecken, im Moment der Oeffnung ein ganz plötzliches starkes Absinken, ganz besonders in den Versuchen mit Anelektrotonus sehr schön (Nr. 1, 2, 14). Die Versuchsergebnisse widerlegen also geradezu die Behauptung, dass der Elektrotonus eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit habe. Dass dagegen der Elektrotonus nicht sofort auf Null sinkt, sondern eine beträchtliche gleichsinnige Nachwirkung hat, ist nach der Kernleitertheorie ebenso in der Ordnung, wie sein plötzliches starkes Absinken im Moment der Oeffnung (s. hierüber den theoretischen Theil am Schlusse).

Noch ein anderer Punkt der Bernstein'schen Arbeit bedarf der Aufklärung. Er hat nämlich (bei Ableitung vom Querschnittsende) auch im Anelektrotonus negative Schwankung erhalten, obwohl, nach der verwendeten Kette zu urtheilen (bis 8 Daniells), die polarisirenden Ströme sicher stark genug waren, um die starke Phase des Zuckungsgesetzes, also auf der Anodenseite keine Schliessungserregung zu geben. Bernstein meint, dass auch bei starken Strömen eine von der Kathode kommende Erregungswelle unter der Anode durchschlüpfe, zwar stark genug, um negative Schwankung, aber zu schwach, um Zuckung zu geben. Diese Erklärung setzt, wie man sieht, voraus, dass die negative Schwankung ein empfindlicheres Reagens auf die anlangende Erregung ist, als die Muskelzuckung. Gerade das Entgegengesetzte aber ist absolut zweifellos. Um negative Schwankung, selbst im Tetanus mit permanenter Ablenkung zu geben, muss die Erregung sehr stark, ja weit stärker sein, als für maximalen, geschweige denn für minimalen Muskeltetanus, für welchen letzteren bekanntlich Rollenabstände von über 500 mm genügen; man versuche einmal, mit solchem Rollenabstande negative Schwankung zu erhalten! Bernstein's Erklärung der Erscheinung ist also ganz sicher unrichtig; eher liesse es sich hören,

wenn er vermuthete, dass die Erregung beim Durchgang unter der Anode etwa ihren zeitlichen Verlauf derartig änderte, dass sie den Muskel nicht erregen kann, aber die Versuche selbst zeigen von solcher Aenderung nichts. Ungleich näher liegt eine ganz andere Erklärung, nämlich, dass die rasch über Quecksilber streichenden Spitzen (ihre Lineargeschwindigkeit geht bis 2,3 Meter) beim Schliessen ein wenig schleudernd wirken, so dass momentane Oeffnungen im ersten Moment unterlaufen; diese müssen natürlich Zuckung und negative Schwankung machen; da sie nicht regelmässig sind, wird diese Schwankung rheotomisch sich schwach und verwischt darstellen. Es handelt sich hier nicht um eine vage Vermuthung, sondern bei den Eigenschaften des Quecksilbers kann es gar nicht anders sein.

Diese Eigenschaften des Quecksilbers, neben der peinigenden Unsicherheit der Quecksilbercontacte überhaupt, und der Unzuverlässigkeit der bei langsam gedrehtem Rheotom vorgenommenen Tauchzeit- und Nullpunktsbestimmung für den eigentlichen Betrieb, waren es, welche mich seiner Zeit veranlasst haben, die Quecksilbercontacte durch Bürstencontacte zu ersetzen. Gegen dieses Bürstenrheotom hat Bernstein (a. a. O. 220 f.) eine Reihe von Einwänden erhoben, die er sicher fallen lassen würde, wenn er ein einziges Mal damit gearbeitet hätte. Bei mir steht der sog. Reizcontact fest, und der Boussolcontact (zwei auf der drehbaren Hartgummischeibe angebrachte Kupferbänke) wird durch Drehung der Hartgummischeibe verschoben, während an Bernstein's Rheotom der Boussolcontact feststeht und der Reizcontact verschoben wird. Ersteres hält Bernstein für „ganz zu verwerfen", weil die Achse der Scheibe mit derjenigen des Rades nicht genau zusammenfallen könne, so dass die Contacte bei verschiedener Stellung der Scheibe ungleich ausfallen. Ich kann nun erstens nicht einsehen, warum dieser Uebelstand geringer sein soll, wenn der verschiebbare Theil der Reizcontact, als wenn er der Boussolcontact ist. Zweitens will ich gern glauben, dass dieser vermuthete Uebelstand für Quecksilbercontacte in Betracht kommen könnte; für Bürstencontacte ist er aber sicher völlig Null, denn darin liegt ja gerade der grosse Vorzug der Bürsten, dass sie elastisch auf den Kupferflächen aufliegen, eine kleine Niveaudifferenz der letzteren (welche sicher nur kleine Bruchtheile eines Millimeter betragen kann) also gar nichts ausmacht. Probiren geht aber hier, wie so oft, über Studiren. Meine Bürsten, aus nicht amalgamirten,

silberplattirten Kupferdrähten bestehend, arbeiten mit absolutester Sicherheit und Constanz, wie die sogleich zu erwähnenden Controlversuche zeigen. Sie sind seit der Arbeit von Matthias[1]) viel kürzer als anfangs, indem die sie tragenden, durch den Radkranz gehenden Drahtbügel nicht wie früher[2]) von oben, sondern von unten eingesteckt sind (vgl. Matthias a. a. O. Taf. III Fig. 2). Der freie Theil der aus zahlreichen feinen Drähten gebildeten Platte ist 4—6 mm lang und 4 mm breit. Eine Deformation durch Centrifugalkraft findet nicht statt. Wer einmal mit diesem Rheotom gearbeitet hat, wird sicher nicht zum Quecksilberrheotom zurückkehren, zumal der Reizcontact (ein Bürstencontact auf kurzem Kupferbänkchen) jederzeit, wenn es auf momentane Inductionsströme ankommt, mit einem dem Rheotom beigegebenen Nadelcontact auf Platindraht vertauscht werden kann. Ueber das Nähere gibt die folgende Darstellung von Weiss Aufschluss.

II. Rheotomversuche.

Von

O. Weiss.

Die Anordnung bei den Versuchen, welche ich auf Veranlassung und nach den Rathschlägen des Herrn Geheimrath Hermann ausführte, war die gleiche wie bei denen Bernstein's. Dem Nerven lagen zwei Paar unpolarisirbarer Thonstiefelelektroden von der Hermann'schen Form[3]) an, von denen das eine den zum Polarisiren des Nerven bestimmten Strom einer constanten Kette von wechselnder Stärke (2—10 kleine, stets frisch gefüllte Grove'sche Elemente) zuleitete. In diesen Stromkreis war auch der längere, verschiebbare Contact des Bürstenrheotoms eingeschaltet. Ich nenne diesen fortan den polarisirenden Contact (*P.C.*), den kurzen, festliegenden den Galvanometercontact (*G.C.*). Der polarisirende Strom wurde durch einen Schlüssel, in seiner Richtung durch einen Stromwender beherrscht. Das zweite Paar unpolarisirbarer Elektroden leitete die extrapolaren Ströme zum Galvanometer ab; in seinen Kreis war der Galvanometercontact

1) Dieses Archiv Bd. 53 S. 70 Taf. III, 1893.

2) Vgl. dieses Archiv Bd. 31 Taf. VII Fig. 1, gegen Bd. 53 Taf. III Fig. 2.

3) Dieses Archiv Bd. 42 S. 79 ff. 1887.

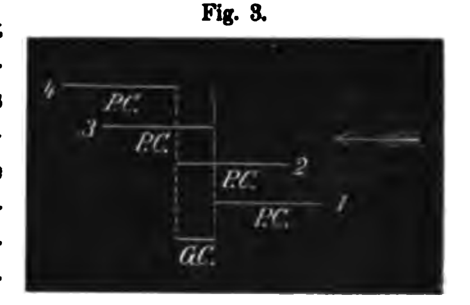
des Rheotoms eingeschaltet. Die Verbindung mit dem Galvanometer vermittelte ein Vorreibeschlüssel, welcher dasselbe ausserhalb der Versuche in Nebenschliessung hielt. Zum Compensiren des Nervenstromes war eine Compensationsvorrichtung angebracht. Als Nerven dienten die Nervi ischiadici des Frosches, welche von ihrem Ursprung aus dem Wirbelcanal bis zum Knie frei präparirt und ausgeschnitten wurden. Es kamen in der Mehrzahl der Versuche vier bis sechs Nerven zur Verwendung, einige Male auch zwei oder acht. Die Thonpfröpfe der Elektroden hatten die Form von Schneiden, auf diesen wurden die Nerven neben einander gelagert. Eine Beeinflussung des Galvanometers durch störende Nebenumstände war dadurch möglichst erschwert, dass der eine, permanent mit den Nerven in Verbindung bleibende Pol der Batterie mittels der Gasleitung zur Erde abgeleitet wurde. Ausserdem wurde am Schluss eines jeden Versuches der Nerv zwischen polarisirenden und ableitenden Elektroden durchschnitten und nach Wiederzusammenlegung der Schnittenden in bekannter Weise auf Stromschleifen geprüft. In den vorliegenden Versuchen fehlten dieselben stets. Das Rheotom wurde von einem Siemens'schen Elektromotor getrieben, zu dessen Inganghaltung der Strom eines Accumulators von 30 Elementen diente und dessen Umdrehungsgeschwindigkeit durch Vorschaltwiderstände abgestuft werden konnte. Der Motor war in einer Entfernung von 6 m vom Galvanometer aufgestellt und wurde sorgfältig so azimuthirt, dass sein Magnetismus den Galvanometermagnet nicht beeinflussen konnte.

Vor jedem Versuche wurde die Zahl der Umdrehungen des Rheotomrades bestimmt und constatirt, dass die Umdrehungsgeschwindigkeit desselben gleichmässig war. Es war dieses letztere deshalb besonders erforderlich, weil keine die Rotationsgeschwindigkeit gleichmässig machende Regulirvorrichtung angewendet wurde. Für die Bestimmung der Umdrehungszahl wurde das Deprez'sche Signal in den Kreis einer Tauchbatterie von 2 Chromsäureelementen zugleich mit dem Galvanometercontact eingeschaltet. Nachdem das Rheotom seine volle Rotationsgeschwindigkeit erlangt hatte, wurden die Marken des Signales auf den sich mit grösstmöglicher Geschwindigkeit bewegenden Cylinder eines Baltzar'schen Kymographion aufgeschrieben, auf welchem gleichzeitig ein Jaquet'scher Zeitschreiber Fünftel-Secunden verzeichnete. Die Zahl der Rheotomdrehungen variirte in den verschiedenen Versuchen

zwischen 14 und 28 in einer Secunde. Eine Vergleichung der Zeit- und Signalmarken ergab, dass die Umdrehungen des Rheotoms absolut gleichmässig erfolgten. Dass nicht nur die Vollendung der Umläufe in gleichmässigen Intervallen stattfand, sondern dass auch während einer einzigen Umdrehung die Geschwindigkeit eine gleichmässige, durch die Contacte nicht beeinflusste war, wird weiter unten noch erwiesen werden. Es war dieses deshalb besonders nöthig, weil es bei der Kürze der in meinen Versuchen verwendeten Bürsten[1]) — ihre Länge betrug im freien Theile 4—6 mm — nicht von vornherein ausgeschlossen erscheinen konnte, dass dieselben durch ihre Reibung auf den Kupferbänken den Gang des Rheotomrades störten.

Weiter wurden die Contacte auf ihre Sicherheit und Einheitlichkeit geprüft. Hierfür wurden beide hinter einander in einen Stromkreis eingeschaltet, welcher zugleich als Stromanzeigeapparat ein Telephon oder ein Galvanometer enthielt. Während das Rheotomrad mit einer Geschwindigkeit rotirte, wie sie in den Versuchen zur Anwendung gelangte, wurde der polarisirende Contact gegen den Galvanometercontact in einem der Raddrehung entgegengesetzten Sinne verschoben, bis das Telephon resp. das Galvanometer die ersten Zeichen für einen Strom angaben. Hierdurch wird die Contactstellung ermittelt, bei welcher die Oeffnung des Galvanometercontactes zusammenfällt mit der Schliessung des polarisirenden. Ich nenne diese Contactstellung die Anfangsstellung (Stellung 1 der Fig. 3). Der polarisirende Contact wurde nun in der anfänglichen Richtung weiter verschoben, bis die Signale keinen Strom mehr anzeigten. Hierdurch wird die Contactstellung ermittelt, bei welcher die Schliessung des Galvanometercontactes mit der Oeffnung des polarisirenden zusammenfällt. Diese Contactstellung nenne ich die Endstellung (Stellung 4 der Fig. 3). Während der sehr langsam ausgeführten Verschiebung des polarisirenden Contactes von der Anfangs- bis zur

Fig. 3.



1) Dieselben wurden vor jedem Versuch neu verfertigt, weil es fraglich schien, ob sie bei einem zweiten Versuch gleich leistungsfähig bleiben würden wie bei dem vorigen.

Endstellung liess das Telephon rhythmische Stösse hören, anderenfalls zeigte das Galvanometer eine constante Ablenkung. Beides ist nur dann möglich, wenn die Contacte einheitlich sind und sicher bei jeder Umdrehung functioniren.

Diese Prüfungen wurden vor und nach jedem Versuche angestellt; die Anfangs- und Endstellung waren nach dem Versuche entweder unverändert oder um höchstens einen Theilstrich ($^1/_{1000}$) der Rheotomeintheilung verschoben. Es war zu erwarten, dass die Ausschläge des Galvanometers bei diesen Prüfungen zunehmen würden, während der polarisirende Contact von der Anfangsstellung verschoben wird bis zu einer Stellung, bei welcher die Schliessung des Galvanometercontactes gleichzeitig mit der des polarisirenden (Stellung 2 der Fig. 3) erfolgte, da bei dieser Stellung zuerst die Dauer des Stromschlusses ihr Maximum erreicht hat. Umgekehrt war zu erwarten, dass von der Contactstellung an, bei welcher die Oeffnung des Galvanometercontactes mit der des polarisirenden zusammenfällt, bis zu der Endstellung die Galvanometerablenkungen abnehmen würden. So geschah es in der That. Die Intensität der Telephonstösse zeigte ebenfalls entsprechend eine Zu- resp. Abnahme.

Aus diesen Beobachtungen kann man die Länge des Galvanometercontactes ersehen, indem dieselbe gleich der Verschiebung der Rheotomscheibe von der Anfangsstellung bis zur Stellung 2 oder ebenso von der Stellung 3 bis zur Endstellung ist. Somit ist auch die Länge des polarisirenden Contactes als Differenz der Verschiebung von der Anfangs- zur Endstellung und der von der Anfangsstellung zur Stellung 2 gegeben. Bei der Bedeutung, welche die genaue Kenntniss der Contactzeiten für die Versuche hatte, wurden dieselben jedoch noch auf folgende zwei Arten bestimmt. Einmal wurden die Contacte einzeln mit einem Telephon zusammen in einen Stromkreis eingeschaltet, sodann das mit einem Zeiger versehene Rheotomrad langsam mit der Hand gedreht. Schluss und Oeffnung des Contactes durch die Bürsten des Rades zeigte das Telephon, welches mit der anderen Hand am Ohr gehalten wurde, durch einen Stoss an. Die Stellungen des Rades, bei denen dies geschah, wurden vermittels des Zeigers an der Rheotomeintheilung abgelesen. Die Grösse der Radverschiebung zwischen Schluss und Oeffnung ist gleich der Contactlänge. Um die Contactlängen auch während der Rotation zu bestimmen, verglich ich die Ablenkung, welche ein dauernd geschlossener Strom am Galvanometer hervor-

rief, mit derjenigen, welche derselbe Strom bei kreisendem Rheotom intermittirend durch den Contact geschlossen bewirkte. Die Contactlänge verhält sich zur Rheotomperipherie wie die bei Rotation bewirkte zu der bei dauerndem Schluss hervorgerufenen Ablenkung. Beide Prüfungen ergaben gleiche Resultate.

Bei der zweiten Prüfung wurden die Rotationsgeschwindigkeiten mehrfach verändert; dabei blieben die Ablenkungen genau gleich gross. Schon diese Thatsache macht wahrscheinlich, dass die Rotationsgeschwindigkeit während einer Umdrehung constant ist. Ganz sicher wird dieses dadurch erwiesen, dass sich bei Berechnung aus dem Verhältniss der Ablenkungsgrössen und bei directer Beobachtung eine gleiche Contactlänge ergibt. Wäre die Rotationsgeschwindigkeit durch die Reibung der Contacte verlangsamt, so müsste die berechnete Contactlänge grösser ausfallen als die direct beobachtete. Somit ist es nunmehr möglich, die Contactzeiten genau zu ermitteln. Ist die Contactlänge *a* Rheotomtheile (d. h. Taustendstel der Peripherie), die Tourenzahl *T* in einer Secunde, so ist die Contactdauer: $\frac{a}{T} \cdot 0{,}001$ Secunden.

Wegen der mit der Anwendung starker Ströme verbundenen Schädigung der Nerven wurden der anelektrotonische und der katelektrotonische Strom niemals an demselben Präparat untersucht.

Wie schon Bernstein, habe ich aus nahe liegenden Gründen die Einzelbeobachtungen nicht bei auf einander folgenden, sondern bei beliebigen Schieberstellungen gemacht, aber in den Tabellen zur besseren Uebersicht nach Schieberstellungen geordnet; die erste Rubrik lässt die Reihenfolge erkennen, in welcher die Beobachtungen wirklich gemacht sind. Ferner habe ich in der zweiten Rubrik die „Anfangs-“ und „Endstellung“ durch *a* und *e* gekennzeichnet.

Ich theile nunmehr die Versuche mit.

Versuchsreihe I.

Untersuchung des anelektrotonischen Stromes.

1. Versuch.

6 Ischiadici. Längsschnittableitung. Kette 6 Grove'sche Elemente. Anfangsstellung vor und nach dem Versuch 0,9. Endstellung vor und nach dem Versuch 94,6. Tourenzahl 14 pro Secunde. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0003 Secunde. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0042 Secunde. Länge der durchflossenen Strecke AB = 2 mm. Länge der abgeleiteten Strecke ab = 6 mm. Zwischenraum Ba = 13 mm.

Reihenfolge der Beobachtungen Nr.	Schieberstellung Sch.	Ablenkung A.	Reihenfolge der Beobachtungen Nr.	Schieberstellung Sch.	Ablenkung A.
1	bis 1,0	0	23	94,9	+ 12
2	0,9 (a)	+ 1/2	22	94,8	+ 11 1/2
5	0,8	+ 2	21	94,7	+ 11
3	0,7	+ 3 1/2	25	94,6 (e)	+ 8
7	0,6	+ 4	27	94,5	+ 5
6	0,5	+ 5	26	94,4	+ 3
4	0,4	+ 5 1/2	30	94,3	+ 1
8	0,3	+ 6 1/2	34	94,2	+ 1/2
12	0,2	+ 7 3/4	43	94,1	+ 1/4
16	0,1	+ 8 1/2	42	94,0	+ 1/4
9	0,0	+ 9	35	93,9	— 1/2
13	99,9	+ 9 1/2	28	93,8	— 1
17	99,8	+ 10	31	93,7	— 1
10	99,7	+ 10 1/2	33	93,6	— 1/2
14	99,6	+ 11	36	93,5	— 1/2
18	99,5	+ 11	41	93,4	— 1/2
11	99,4	+ 11 1/2	37	93,3	— 1/2
19	99,3	+ 11 1/2	29	93,2	— 1/2
15	99,2	+ 11 1/2	32	93,1	— 1/4
20	99,1	+ 11 3/4	38	93,0	— 1/4
			39	92,9	—
24	95,0	+ 12	40	92,8	0

2. Versuch.

2 Ischiadici. Längsschnittableitung. 6 Grove'sche Elemente. Anfangsstellung 15,6. Endstellung 81,5. Tourenzahl 15 pro Sec. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0008 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0298 Sec. AB = 3 mm. ab = 3 mm. Ba = 16 mm.

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
1	bis 15,7	0	27	81,8	+ 9 1/2
2	15,6 (a)	+ 1	19	81,7	+ 9 1/2
3	15,5	+ 2	28	81,6	+ 9
9	15,4	+ 3 1/2	20	81,5 (e)	+ 6
10	15,3	+ 4	29	81,4	+ 4
4	15,2	+ 5	21	81,3	+ 3
11	15,1	+ 6	30	81,2	+ 2 1/2
5	15,0	+ 6 1/2	22	81,1	+ 1 1/4
12	14,9	+ 7	31	81,0	+ 1
6	14,8	+ 7	23	80,9	+ 1/2
13	14,7	+ 7 1/2	32	80,8	+ 1/4
7	14,6	+ 7 1/2	24	80,7	0
14	14,5	+ 7 1/2	33	80,6	— 1
8	14,4	+ 7 3/4	25	80,5	— 1
15	14,3	+ 8	34	80,4	— 1/2
16	14,2	+ 8	26	80,3	— 1/2
			35	80,2	— 1/4
17	90,0	+ 9 1/4	36	80,1	—
			37	80,0	0
18	81,9	+ 10			

3. Versuch.

6 Ischiadici. Längsschnittableitung. 10 Grove'sche Elemente. Anfangsstellung 2,1. Endstellung 96,2. Tourenzahl 25 pro Sec. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0002 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0021 Sec. AB = 2 mm. ab = 3 mm. Ba = 20 mm.

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
1	bis 2,2	0	7	1,4	+ 5
2	2,1 (a)	+	10	1,3	+ 5
5	2,0	+ 1	12	1,2	+ 5
3	1,9	+ 2 1/2	11	1,1	+ 5
6	1,8	+ 3 1/2	13	1,0	+ 5 1/4
4	1,7	+ 4	14	0,5	+ 5 1/4
9	1,6	+ 4 1/2	15	99,5	+ 5 3/4
8	1,5	+ 4 3/4	Der Nerv vertrocknet.		

4. Versuch.

4 Ischiadici. Längsschnittableitung. 8 Grove'sche Elemente. Tourenzahl 20,5 pro Sec. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0003 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0025 Sec. Anfangsstellung vor dem Versuch 1,0, nach demselben 1,1. Endstellung vor dem Versuch 95,1, nach demselben 95,1. ab = 4 mm. Ba = 16 mm.

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
		I. AB = 3,5 mm.			
1	bis 1,1 (a)	0	23	95,2	+ 6
2	1,0 (a)	0	22	95,1 (e)	+ 6
3	0,9	+ 1	21	95,0	+ 4
4	0,8	+ 1 1/2	20	94,9	+ 2 1/2
8	0,7	+ 2 1/2	25	94,8	+ 2
5	0,4	+ 3	26	94,7	+ 1 1/2
9	0,1	+ 4	27	94,6	+ 1
6	0,0	+ 4 1/2	28	94,5	+ 1
10	99,9	+ 4 1/2	29	94,4	+ 1/2
7	99,5	+ 5	30	94,3	+ 1/4
16	99,0	+ 5	31	94,2	—
11	98,5	+ 5 1/2	35	94,1	— 1
17	98,0	+ 6	39	94,0	— 1
12	97,5	+ 6	37	93,9	— 1/2
18	97,0	+ 6 1/2	33	93,8	— 1/4
15	96,5	+ 6 3/4	32	93,7	— 1/4
14	96,0	+ 7	34	93,6	—
13	95,5	+ 7	36	93,5	—
19	95,4	+ 7	38	93,4	0
24	95,3	+ 6 1/2			
		II. AB = 7 mm.			
4	bis 0,6	0	13	94,9	+ 1/2
7	0,5	+ 1/4	14	94,6	+
9	0,3	+ 1	15	94,5	—
10	96,0	+ 2	16	94,3	— 1/2
11	95,2	+ 2 1/2	17	94,2	— 1/2
12	95,0	+ 1	18	94,1	—

4. Versuch (Fortsetzung).

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
III. AB = 15 mm.					
8	bis 99,9	0	17	94,7	0
9	99,8	+	18	94,5	0
10	99,7	+ 1/4	19	94,4	0
11	99,6	+ 1/2	20	94,1	— 1
12	96,0	+ 1	21	94,0	— 1/2
13	95,3	+ 1	22	93,9	— 1/2
14	95,1	+ 1/2	23	93,8	—
15	95,0	+	24	93,7	0
16	94,8	0			

5. Versuch.

6 Ischiadici. Längsschnittableitung. 8 Grove'sche Elemente. Tourenzahl 21,5 pro Sec. Anfangsstellung vorher 1,7, nachher 1,6. Endstellung vorher 95,2, nachher 95,1. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0002 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0028. AB = 2 mm. ab = 3 mm. Ba = 12 mm.

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
1	bis 1,8	0	20	95,5	+ 8 1/2
2	1,7 } (a)	+ 1/2	25	95,4	+ 8
6	1,6 } (a)	+ 1	33	95,3	+ 7 3/4
3	1,5	+ 2 1/2	37	95,2 } (e)	+ 7 1/2
13	1,4	+ 3 1/2	21	95,1 } (e)	+ 5
4	1,3	+ 4 1/2	28	95,0	+ 3
7	1,2	+ 5 1/2	34	94,9	+ 2 3/4
5	1,1	+ 6	22	94,8	+ 2 1/4
14	1,0	+ 6 1/2	29	94,7	+ 2
8	0,9	+ 6 1/2	35	94,6	+ 1 1/2
15	0,8	+ 6 3/4	23	94,5	+ 1
9	0,7	+ 7	30	94,4	+ 1/2
16	0,6	+ 7	26	94,3	+ 1/4
10	0,5	+ 7 1/4	36	94,2	+
17	0,4	+ 7 1/2	27	94,1	—
11	0,3	+ 7 1/2	38	94,0	— 1
18	0,2	+ 7 3/4	39	93,9	— 1
12	0,1	+ 7 3/4	24	93,8	— 1/2
19	0,0	+ 7 3/4	31	93,7	— 1/4
			32	93,6	0

6. Versuch.

8 Ischiadici. Längsschnittableitung. 8 Grove'sche Elemente. Tourenzahl 17 pro Sec. Anfangsstellung vorher 1,5, nachher 1,4. Endstellung vorher 95,1, nachher 95,0. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0003 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0035. AB = 3 mm. ab = 4,5 mm. Ba = 15,5 mm.

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
1	bis 1,6	0	21	94,9	+ 1
2	1,5 (a)	+ 1/2	24	94,8	+ 1
5	1,4 (a)	+ 1	29	94,7	+ 3/4
7	1,3	+ 2 1/2	30	94,6	+ 3/4
8	1,2	+ 3 1/2	34	94,5	+ 1/2
6	1,1	+ 3 1/2	25	94,4	+ 1/4
9	1,0	+ 4	31	94,3	+
10	0,9	+ 4	35	94,2	0
4	0,8	+ 4 1/4	36	94,1	—
3	0,7	+ 4 1/4	26	94,0	— 1/2
11	0,6	+ 4 3/4	32	93,9	— 1
12	98,0	+ 5	37	93,8	— 1 1/2
13	97,5	+ 5 1/2	40	93,7	— 1
14	97,0	+ 5 1/2	43	93,6	— 1
15	96,5	+ 5 3/4	27	93,5	— 3/4
16	96,0	+ 6 1/2	33	93,4	— 1/2
17	95,5	+ 6 1/2	38	93,3	— 1/2
18	95,4	+ 6 1/2	41	93,2	— 1/4
20	95,3	+ 6	42	93,1	—
23	95,2	+ 6	28	93,0	—
22	95,1 (e)	+ 3 1/2	39	92,9	0
19	95,0 (e)	+ 1 1/2			

7. Versuch.

2 Ischiadici. Längsquerschnittableitung. Nervenstrom compensirt. 4 Grove'sche Elemente. Tourenzahl 17 pro Sec. Anfangsstellung vor- und nachher 15,3. Endstellung ebenso 81,4. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0008 Sec. Dauer des polarisir. Contacts 0,0197 Sec. AB = 2 mm. ab = 3 mm. Ba = 14 mm.

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
1	bis 15,4	0	17	80,8	— 3 1/2
2	15,3 (a)	+ 1/2	18	80,7	— 4
3	15,2	+ 1	19	80,6	— 4
4	15,1	+ 3	38	80,5	— 3 1/2
5	15,0	+ 5	20	80,4	— 3
6	14,9	+ 5 1/2	21	80,3	— 3
34	14,8	+ 6	22	80,2	— 2 1/2
35	14,7	+ 6 1/2	39	80,1	— 2
36	14,6	+ 6 3/4	23	80,0	— 1 1/2
37	14,5	+ 6 3/4	24	79,9	— 1 1/2
7	81,9	+ 7 1/4	25	79,8	— 1
8	81,8	+ 7 1/4	40	79,7	— 1
9	81,7	+ 7	26	79,6	— 3/4
10	81,6	+ 6 3/4	27	79,5	— 1/2
11	81,5	+ 6 1/2	41	79,4	— 1/2
12	81,4 (e)	+ 4 1/2	28	79,3	— 1/4
13	81,3	+ 2 3/4	29	79,2	—
14	81,2	+ 1 1/2	30	79,1	—
15	81,1	+ 1	32	79,0	—
16	81,0	+ 1/2	31	78,9	0
37	80,9	— 2	33	78,8	0

8. Versuch.

6 Ischiadici. Längsquerschnittableitung. Nervenstrom compensirt. 8 Grove'sche Elemente. Tourenzahl 24 pro Sec. Anfangsstellung vorher 1,2, während 1,2, nachher 1,3. Endstellung vorher 95,0, während 95,0, nachher 95,1. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0002 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0024 Sec. AB = 4 mm. ab = 4 mm. Ba = 14 mm.

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
1	bis 1,3	0	18	94,8	+ 1 1/2
2	1,2 (a)	+	19	94,7	+ 1 1/4
3	1,1	+ 1/2	38	94,6	+ 1
4	1,0	+ 2	20	94,5	+ 1/4
5	0,9	+ 3	21	94,4	0
6	0,8	+ 4	22	94,3	—
34	0,7	+ 5 1/2	23	94,2	— 1/4
7	0,6	+ 6	39	94,1	— 1
35	0,5	+ 7	24	94,0	— 1
8	0,4	+ 7 1/4	25	93,9	— 1 1/2
36	0,3	+ 7 1/2	26	93,8	— 2 1/2
9	0,2	+ 8	40	93,6	— 4
37	0,1	+ 8	27	93,5	— 4
10	0,0	+ 8 1/4	28	93,2	— 3
			41	93,1	— 2 1/2
11	95,5	+ 9 1/2	29	93,0	— 1
14	95,4	+ 9 1/2	30	92,8	— 1/2
12	95,3	+ 9 1/4	31	92,6	— 1/2
13	95,2	+ 8 3/4	42	92,4	— 1/4
15	95,1 } (e)	+ 8	32	92,0	0
16	95,0 }	+ 5	33	91,8	0
17	94,9	+ 3			

9. Versuch.

4 Ischiadici. Längsquerschnittableitung. Nervenstrom compensirt. 8 Grove'sche Elemente. Tourenzahl 22 pro Sec. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0002 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0026. Anfangsstellung vorher 1,1, nachher 1,0. Endstellung vorher 94,9, nachher 94,9. AB = 4 mm. ab = 3 mm. Ba = 17 mm.

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
1	bis 1,2	0	25	0,1	+ 5 1/4
2	1,1 } (a)	+	26	0,0	+ 5 1/2
3	1,0 }	+ 1 1/2	27	99,9	+ 5 1/2
4	0,9	+ 2 1/4			
5	0,8	+ 2 1/2	6	95,5	+ 6 1/4
18	0,7	+ 3	7	95,4	+ 6 1/4
19	0,6	+ 4	8	95,3	+ 6
20	0,5	+ 4 1/2	9	95,2	+ 6
22	0,4	+ 4 1/2	10	95,1	+ 5 1/2
23	0,3	+ 5	11	95,0	+ 5 1/4
24	0,2	+ 5	12	94,9 (e)	+ 4

9. Versuch (Fortsetzung).

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
13	94,8	+ 3	33	93,5	— 4
14	94,7	+ 2	43	93,4	— 3
15	94,6	+ 1	34	93,3	— 3
16	94,5	+ 1 1/2	44	93,2	— 2 1/2
28	94,4	+ 1 1/2	35	93,0	— 2 1/2
17	94,3	+ 1	45	92,9	— 2
29	94,2	+ 1/2	36	92,8	— 2
30	94,1	+	46	92,5	— 1 1/2
40	94,0	0	37	92,2	— 1
31	93,9	— 1/4	47	92,0	— 1/2
41	93,8	— 1/2	38	91,8	—
32	93,7	— 2	48	91,6	0
42	93,6	— 3	39	91,5	0

10. Versuch.

4 Ischiadici. Längsquerschnittableitung. Nervenstrom compensirt. 6 Grove'sche Elemente. Tourenzahl 15 pro Sec. Anfangsstellung vor- und nachher 1,0. Endstellung ebenso 95,0. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0002 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0038 Sec. AB = 4 mm. ab = 3 mm. Ba = 14,5 mm.

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
25	bis 1,1	0	4	95,3	+ 7
26	1,0 (a)	+ 1/4	5	95,2	+ 6 1/2
27	0,9	+ 1/2	6	95,1	+ 6
28	0,8	+ 2	7	95,0 (e)	+ 4
29	0,7	+ 2 3/4	8	94,9	+ 2 1/4
30	0,6	+ 3 1/2	9	94,8	+ 1
31	0,5	+ 4 1/2	10	94,7	+ 1/2
32	0,4	+ 5	11	94,6	+ 1/2
33	0,3	+ 5 1/4	12	94,5	+ 1/4
34	0,2	+ 5 1/2	13	94,4	— 2
35	0,1	+ 5 3/4	14	94,3	— 4
36	0,0	+ 5 3/4	15	94,2	— 3
37	99,9	+ 6	16	94,1	— 2
			17	94,0	— 1 1/2
38	99,6	+ 7	18	93,9	— 1
			24	93,6	— 1
39	97,0	+ 7 1/4	19	93,5	— 1/2
			20	93,3	— 1/2
1	95,6	+ 7 1/2	21	93,1	— 1/4
2	95,5	+ 7 1/2	22	93,0	—
3	95,4	+ 7 1/4	23	92,9	0

11. Versuch.

6 Ischiadici. Längsquerschnittableitung. Durch den Nervenstrom bei rotirendem Rheotom bewirkter Galvanometerausschlag + 5 1/2. 8 Grove'sche

Elemente. Tourenzahl 20 pro Sec. Anfangsstellung vor- und nacher 1,3. Endstellung ebenso 95,0. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0004 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0028 Sec. ab = 4 mm. Ba = 12 mm.

Nr.	Sch.	A.	A. ohne Nervenstrom	Nr.	Sch.	A.	A. ohne Nervenstrom
			I. AB = 2,5 mm.				
1	bis 1,4	+ 5½	0	12	0,1	+ 17	+ 11½
2	1,3 (a)	+ 6	+ ½	13	0,0	+ 17½	+ 12
3	1,2	+ 7	+ 1½	14	99,5	+ 19½	+ 14
4	1,1	+ 9	+ 2½	22	99,0	+ 21	+ 15½
20	1,0	+ 10	+ 4½	15	98,5	+ 22	+ 16½
5	0,9	+ 10½	+ 5	23	98,0	+ 23½	+ 18
6	0,8	+ 12	+ 6½	16	97,5	+ 24½	+ 19
7	0,7	+ 13	+ 7½	24	97,0	+ 25	+ 19½
8	0,6	+ 14	+ 8½	17	96,5	+ 25	+ 19½
21	0,5	+ 14½	+ 9	25	96,0	+ 26	+ 20½
9	0,4	+ 15	+ 9½	18	95,1	+ 24	+ 18½
10	0,3	+ 15½	+ 10	19	95,0 (e)	+ 17	+ 11½
11	0,2	+ 16½	+ 11				
			II. AB = 20 mm.				
5	bis 0,6	+ 5½	0	35	98,9	+ 6	+ ½
6	0,5	+ 5¼	0	20	98,8	+ 6½	+ 1
7	0,4	+ 5½	0	21	98,7	+ 6¾	+ 1¼
8	0,3	+ 5½	0	22	98,6	+ 7	+ 1½
9	0,2	+ 5½	0	23	98,5	+ 7	+ 1½
10	0,1	+ 5½	0	24	98,4	+ 7½	+ 2
11	0,0	+ 5½	0	25	98,3	+ 7½	+ 2
37	99,9	+ 5½	0	34	98,2	+ 7½	+ 2
12	99,8	+ 5½	0	26	98,1	+ 7¾	+ 2¼
13	99,7	+ 5½	0	27	98,0	+ 8	+ 2½
14	99,6	+ 5½	0	33	97,5	+ 8	+ 2½
15	99,5	+ 5½	0	28	97,0	+ 8¼	+ 2¾
36	99,4	+ 5½	0	29	96,5	+ 8½	+ 3
16	99,3	+ 5½	0	30	96,0	+ 8½	+ 3
17	99,2	+ 5½	0	31	95,1	+ 8	+ 2½
18	99,1	+ 5¾	+ ¼	32	95,0 (e)	+ 6½	+ 1
19	99,0	+ 6	+ ½				

12. Versuch.

6 Ischiadici. Längsquerschnittableitung. Durch den Nervenstrom bei rotirendem Rheotom bewirkter Galvanometerausschlag + 6½. 8 Grove'sche Elemente. Tourenzahl 19 pro Sec. Anfangsstellung vor- und nachher 1,2. Endstellung ebenso 95,0. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0003 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0029 Sec. AB = 2 mm. ab = 3 mm. Ba = 10 mm.

Nr.	Sch.	A.	A. o. N.	Nr.	Sch.	A.	A. o. N.
			I. AB = 2 mm.				
1	bis 1,3	+ 6½	0	19	0,7	+ 15	+ 8½
2	1,2 (a)	+ 7	+ ½	20	0,6	+ 16	+ 9½
3	1,1	+ 9	+ 2½	21	0,2	+ 16½	+ 10
4	1,0	+ 10½	+ 4	22	0,0	+ 17	+ 10½
5	0,9	+ 12	+ 5½	23	99,7	+ 18	+ 11½
6	0,8	+ 13	+ 6½	24	99,4	+ 18½	+ 12

12. Versuch (Fortsetzung).

Nr.	Sch.	A.	A. o. N.	Nr.	Sch.	A.	A. o. N.
25	99,1	+ 20	+ 13 1/2	14	94,5	+ 7	+ 1/2
26	98,8	+ 20 1/2	+ 14	15	94,4	+ 6 1/2	0
27	98,5	+ 21	+ 14 1/2	16	94,3	+ 6 1/2	0
48	98,2	+ 22	+ 15 1/2	17	94,2	+ 2	— 4 1/2
28	97,9	+ 22	+ 15 1/2	50	94,1	+ 1 1/2	— 5
29	97,6	+ 23	+ 16 1/2	18	94,0	+ 2	— 4 1/2
30	97,3	+ 24	+ 17 1/2	36	93,9	+ 2 1/2	— 4
31	97,0	+ 25 1/2	+ 19	37	93,8	+ 2 1/2	— 4
49	96,7	+ 25 1/2	+ 19	38	93,7	+ 2 3/4	— 3 3/4
32	96,4	+ 25 1/2	+ 19	39	93,6	+ 3	— 3 1/2
33	96,1	+ 26	+ 19 1/2	40	93,5	+ 3 1/2	— 3
34	95,8	+ 26	+ 19 1/2	51	93,4	+ 3 1/2	— 3
35	95,5	+ 26	+ 19 1/2	41	93,3	+ 4	— 2 1/2
7	95,2	+ 26 1/2	+ 20	42	93,2	+ 4	— 2 1/2
8	95,1	+ 25	+ 18 1/2	43	93,1	+ 4	— 2 1/2
9	95,0 (e)	+ 20	+ 13 1/2	44	93,0	+ 4 1/2	— 2
10	94,9	+ 13	+ 6 1/2	52	92,9	+ 4 3/4	— 1 3/4
11	94,8	+ 10	+ 3 1/2	45	92,8	+ 5	— 1 1/2
12	94,7	+ 8	+ 1 1/2	46	92,7	+ 5 1/2	— 1
13	94,6	+ 7 1/2	+ 1	47	92,4	+ 5 3/4	— 3/4
II. AB = 15 mm.							
1	95,2	+ 9 1/2	+ 3	5	94,8	+ 6	— 1/2
2	95,1	+ 9 1/2	+ 3	6	94,7	+ 5 3/4	— 3/4
3	95,0 (e)	+ 7	+ 1/2	7	94,6	+ 5 3/4	— 3/4
4	94,9	+ 6	— 1/2	8	94,1	+ 2	— 4 1/2
III. AB = 20 mm.							
1	95,2	+ 7 1/2	+ 1	15	93,5	+ 3 1/2	— 3
2	95,1	+ 7 1/2	+ 1	16	93,4	+ 4	— 2 1/2
3	95,0 (e)	+ 6 1/2	0	17	93,2	+ 4	— 2 1/2
4	94,9	+ 6	— 1/2	18	93,2	+ 4 1/2	— 2
5	94,8	+ 5 3/4	— 3/4	19	93,1	+ 4 1/2	— 2
6	94,7	+ 5 3/4	— 3/4	32	93,0	+ 5	— 1 1/2
29	94,6	+ 5 1/4	— 1 1/4	20	92,9	+ 5 1/4	— 1 1/4
7	94,5	+ 4 1/2	— 2	21	92,8	+ 5 1/4	— 1 1/4
8	94,4	+ 3	— 3 1/2	22	92,7	+ 5 1/2	— 1
9	94,3	+ 2	— 4 1/2	23	92,6	+ 5 1/2	— 1
30	94,2	+ 1	— 5 1/2	33	92,5	+ 5 1/2	— 1
10	94,1	+ 1 1/2	— 5	24	92,4	+ 5 3/4	— 3/4
11	94,0	+ 2	— 4 1/2	25	92,3	+ 5 3/4	— 3/4
12	93,9	+ 2 1/4	— 4 1/4	26	92,2	+ 5 3/4	— 3/4
13	93,8	+ 2 1/2	— 4	34	92,1	+ 6	— 1/2
31	93,7	+ 3	— 3 1/2	27	92,0	+ 6	— 1/2
14	93,6	+ 3 1/2	— 3	28	91,5	+ 6 1/2	0

13. Versuch.

4 Ischiadici. Längsquerschnittableitung. Nervenstrom compensirt. 2 Grove'sche Elemente. Tourenzahl 21 pro Sec. Anfangsstellung vor- und nachher 1,2. Endstellung ebenso 95,0. Dauer des Galvanometer-Contacts

0,0002 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0027 Sec. AB = 4 mm. ab = 3 mm. Ba = 12 mm.

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
1	bis 1,3	0	23	98,8	+ 1
2	1,2 (a)	0	26	98,7	+ 1 1/2
			24	98,6	+ 2 1/2
11	0,3	0	25	98,5	+ 3
12	0,2	—	27	98,4	+ 3
13	0,1	— 1/4	28	98,3	+ 3
38	0,0	— 1/2	29	98,2	+ 3 1/2
14	99,9	— 1	41	98,1	+ 3 1/2
15	99,8	— 2 1/2			
16	99,7	— 2 1/2	30	95,1	+ 2 1/2
39	99,6	— 2	31	95,0 (e)	+ 1
17	99,5	— 2	32	94,9	+ 1/2
18	99,4	— 1 1/2	33	94,8	0
40	99,3	— 1	42	94,7	0
19	99,2	— 1/2	34	94,6	0
20	99,1	0	35	94,5	—
21	99,0	0	36	94,4	— 1/2
22	98,9	+	37	94,3	0

Negative Schwankung allein. Reizmoment 1,2. Inductorium mit 4 Grove gespeist.

1	1,2	0	22	98,8	— 2
11	0,2	—	23	98,7	— 1 3/4
12	0,1	— 1/2	24	98,6	— 1 1/2
13	0,0	— 1	37	98,5	— 1 1/4
14	99,9	— 2	25	98,4	— 1
34	99,8	— 3 1/2	26	98,3	— 1
15	99,7	— 4	27	98,2	— 1
16	99,6	— 4	28	98,1	— 3/4
17	99,5	— 3 1/2	38	98,0	— 1/2
18	99,4	— 3	29	97,9	— 1/2
35	99,3	— 3	30	97,8	— 1/4
19	99,2	— 2 1/2	31	97,7	—
20	99,1	— 2 1/2	39	97,6	—
21	99,0	— 2	32	97,5	—
36	98,9	— 2	33	97,4	0

14. Versuch.

4 Ischiadici. Längsquerschnittableitung. Nervenstrom compensirt. 2 Grove'sche Elemente. Tourenzahl 20 pro Sec. Anfangsstellung vor- und nachher 1,4. Endstellung ebenso 94,8. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0003 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0031 Sec. AB = 5 mm. ab = 4 mm. Ba = 12 mm.

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
1	1,4 (a)	0	12	0,2	— 3/4
			13	0,1	— 1
9	0,5	0	14	0,0	— 2
10	0,4	—	15	99,9	— 2
11	0,3	— 1/2	16	99,8	— 1 1/2

14. Versuch (Fortsetzung).

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
17	99,7	— 1	32	94,5	+ 1/4
18	99,6	— 1/2	33	94,4	0
19	99,5	0	34	94,3	—
20	99,4	+ 1/2	35	94,2	— 1/4
21	99,3	+ 1	36	94,1	—
22	99,2	+ 1	37	94,0	—
23	99,1	+ 1 1/2	38	93,9	— 1/2
24	99,0	+ 1 1/2	40	93,8	— 1 1/2
25	98,9	+ 2	39	93,7	— 1
26	98,8	+ 2	41	93,6	— 1
27	98,7	+ 2 1/4	47	93,5	— 1/2
28	98,6	+ 2 1/2	46	93,4	— 1/2
			42	93,3	—
29	94,9	+ 2	43	93,2	—
30	94,8 (e)	+ 1	44	93,1	—
31	94,7	+ 1/2	45	93,0	0
48	94,6	+ 1/2			

Negative Schwankung allein. Reizmoment 1,0. Inductorium mit 4 Grove gespeist.

1	1,0	0	19	98,9	— 1
			20	98,8	— 1
8	0,3	0	21	98,7	— 1
9	0,2	— 1/2	22	98,6	— 3/4
10	0,1	— 1	24	98,5	— 1/2
11	0,0	— 2	23	98,4	— 1/2
32	99,9	— 3 1/2	25	98,3	— 1/2
12	99,8	— 4	26	98,2	— 1/2
13	99,7	— 3 1/2	35	98,1	— 1/2
14	99,6	— 3 1/2	27	98,0	— 1/4
15	99,5	— 2 1/2	28	97,9	—
16	99,4	— 2 1/2	29	97,8	—
17	99,3	— 2 1/4	36	97,7	—
33	99,2	— 2	30	97,6	0
18	99,1	— 1 1/2	31	97,5	0
34	99,0	— 1 1/2			

Versuchsreihe II.

Untersuchung des katelektrotonischen Stromes.

15. Versuch.

6 Ischiadici. Längsschnittableitung. 8 Grove'sche Elemente. Tourenzahl 23,5 pro Sec. Anfangsstellung vor- und nachher 1,8. Endstellung ebenso 94,9. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0003 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0024 Sec. ab = 3 mm. Ba = 10 mm.

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
		I. AB = 2,5 mm.			
1	bis 1,4	0	4	95,5	— 5 3/4
2	1,3 (a)	—	5	95,4	— 5 3/4
3	1,2	— 2	6	95,2	— 5 1/2
11	1,1	— 4	7	95,1	— 5 1/4
12	1,0	— 4 1/2	8	95,0	— 5
13	0,9	— 4 1/2	9	94,9 (e)	— 3
14	0,8	— 4 3/4	10	94,8	— 2
15	0,7	— 4 3/4	24	94,7	— 2
16	0,6	— 4 3/4	25	94,6	— 1 1/4
17	0,5	— 5	26	94,5	— 1
18	0,4	— 5	27	94,4	— 1/2
19	0,3	— 5	28	94,3	— 1/2
20	0,2	— 5	29	94,2	—
21	0,1	— 5 1/4	30	94,1	—
22	0,0	— 5 1/4	31	94,0	0
23	99,9	— 5 1/4			
		II. AB = 15 mm.			
1	1,3 (a)	0	11	0,3	— 1 3/4
4	1,0	0	12	95,0	— 2 1/2
5	0,9	— 1/4	13	94,9	— 1 1/2
6	0,8	— 1/2	14	94,8	— 1
7	0,7	— 1/2	15	94,6	— 1/4
8	0,6	— 1	16	94,5	—
9	0,5	— 1 1/2	17	94,3	0
10	0,4	— 1 3/4			

16. Versuch.

6 Ischiadici. Längsschnittableitung. 10 Grove'sche Elemente. Tourenzahl 22 pro Sec. Anfangsstellung vorher 1,2, nachher 1,1. Endstellung vorher 95,2, nachher 95,1. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0003 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0024 Sec. AB = 2 mm. ab = 4 mm. Ba = 15 mm.

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
1	bis 1,3	0	19	97,0	— 3 3/4
2	1,2 (a)	0	20	96,5	— 3 3/4
3	1,1 (a)	—	21	96,0	— 3 3/4
4	1,0	— 1	6	95,5	— 3 3/4
5	0,5	— 2 1/2	7	95,4	— 3 1/2
13	0,0	— 2 3/4	8	95,2 (e)	— 3 1/4
14	99,5	— 3	9	95,1 (e)	— 2
15	99,0	— 3	10	95,0	— 1
16	98,5	— 3 1/4	11	94,5	— 1/2
17	98,0	— 3 1/2	12	94,0	0
18	97,5	— 3 1/2			

17. Versuch.

4 Ischiadici. Längsschnittableitung. 8 Grove'sche Elemente. Tourenzahl 28 pro Sec. Anfangsstellung vorher 1,1, nachher 1,0. Endstellung vorher 95,0, nachher 94,9. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0002 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0020 Sec. ab = 4 mm. Ba = 9 mm.

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
I. AB = 2 mm.					
1	bis 1,2	0	19	99,2	— 5 3/4
2	1,1 (a)	— 1/4	20	99,1	— 5 3/4
3	1,0 (a)	— 1	23	99,0	— 5 3/4
4	0,9	— 1 1/2			
5	0,8	— 2 1/2	24	95,5	— 6 1/4
6	0,7	— 3	25	95,4	— 6 1/4
7	0,6	— 3 1/2	26	95,3	— 6
8	0,5	— 3 3/4	38	95,2	— 5 3/4
9	0,4	— 4	27	95,1	— 5 3/4
21	0,3	— 4	28	95,0 (e)	— 5 1/2
10	0,2	— 4 1/2	29	94,9 (e)	— 2
11	0,1	— 4 3/4	30	94,8	— 1 1/2
12	0,0	— 5	31	94,7	— 1
13	99,9	— 5	32	94,6	— 1/2
14	99,8	— 5 1/4	39	94,5	— 1/2
15	99,7	— 5 1/2	33	94,4	— 1/4
22	99,6	— 5 1/2	34	94,3	—
16	99,5	— 5 1/2	35	94,2	—
17	99,4	— 5 3/4	36	94,1	—
18	99,3	— 5 3/4	37	94,0	0
II. AB = 10 mm.					
1	bis 1,1 (a)	0	10	95,2	— 2 1/2
2	1,0 (a)	0	11	95,1	— 2 1/4
			12	95,0 (e)	— 2
4	0,8	0	13	94,9 (e)	— 2
5	0,7	— 1/4	14	94,8	— 1
6	0,6	— 1/2	15	94,7	— 1/2
7	0,5	— 1 1/2	16	94,6	— 1/2
8	0,4	— 1 1/2	17	94,5	—
20	0,3	— 2	18	94,4	—
			19	94,3	0
9	95,3	— 2 1/2			
III. AB = 15 mm.					
1	1,1 (a)	0	13	99,9	— 1
2	1,0 (a)	0			
			14	95,2	— 1 1/2
8	0,4	0	15	95,1	— 1 1/4
9	0,3	—	16	95,0 (e)	— 1
10	0,2	— 1/4	17	94,9 (e)	— 1/2
11	0,1	— 1/2	18	94,8	—
12	0,0	— 3/4	19	94,7	0
			20	94,6	0

18. Versuch.

4 Ischiadici. Längsschnittableitung. 8 Grove'sche Elemente. Tourenzahl 24 pro Sec. Anfangsstellung vor- und nachher 1,0. Endstellung ebenso 95,0. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0003 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0023. AB = 6 mm. ab = 3 mm. Ba = 12 mm.

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
1	1,0 (a)	0	23	98,7	— 1 3/4
			36	98,6	— 2
10	0,1	0	24	98,5	— 2
11	0,0	— 1/4	25	98,4	— 2
12	99,9	— 1			
13	99,8	— 1 1/2	26	95,0 (e)	— 2
14	99,7	— 1 3/4	27	94,9	— 1/2
35	99,6	— 1 3/4	28	94,8	— 1/4
15	99,5	— 1 3/4	29	94,7	0
16	99,4	— 1 3/4			
17	99,3	— 1 3/4	30	94,1	0
18	99,2	— 1 3/4	37	94,0	—
19	99,1	— 1 3/4	31	93,9	— 1/2
20	99,0	— 1 1/2	32	93,8	— 1/2
21	98,9	— 1 1/2	33	93,7	—
22	98,8	— 1 1/2	34	93,6	0

19. Versuch.

6 Ischiadici. Längsquerschnittableitung. Nervenstrom compensirt. 8 Grove'sche Elemente. Tourenzahl 22 pro Sec. Anfangsstellung vorher 1,1, nachher 1,0. Endstellung vorher 94,9, nachher 94,9. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0003 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0025 Secunden. AB = 3 mm. ab = 4 mm. Ba = 12 mm.

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
1	bis 1,2	0	13	99,9	— 6
2	1,1 (a)	0	20	99,8	— 7
3	1,0 (a)	—	14	99,7	— 6 1/2
4	0,9	— 1	15	99,6	— 5 1/2
5	0,8	— 2 1/2	16	99,5	— 5 1/2
6	0,7	— 3 1/2	17	99,4	— 5
7	0,6	— 3 1/2	21	99,3	— 4 3/4
8	0,5	— 3 3/4	18	99,2	— 4
9	0,4	— 3 3/4	22	99,1	— 4
10	0,3	— 4	23	99,0	— 3 3/4
19	0,2	— 4 1/4			
11	0,1	— 4 3/4	24	95,0	— 4 1/4
12	0,0	— 5			

Vertrocknung der Nerven.

20. Versuch.

8 Ischiadici. Längsquerschnittableitung. Nervenstrom compensirt. 8 Grove'sche Elemente. Tourenzahl 21 pro Sec. Anfangsstellung vorher 1,0, nachher 0,9. Endstellung vorher 94,8, nachher 94,7. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0002 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0027 Secunden. ab = 3 mm. Ba = 11 mm.

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
		I. AB = 2 mm.			
1	bis 1,1	0	16	99,8	— 6 1/2
2	1,0 (a)	— 1/2	17	99,7	— 5 1/2
3	0,9 (a)	— 1 1/2	22	99,6	— 4 1/2
4	0,8	— 2 1/2			
12	0,7	— 3	6	99,0	— 5
14	0,6	— 4	24	98,5	— 6
15	0,5	— 4 1/2	7	98,0	— 6
18	0,4	— 6	23	97,5	— 6 1/2
19	0,3	— 9	8	95,0	— 6 1/2
20	0,2	— 8	9	94,9	— 6
21	0,1	— 8 1/4	10	94,8 (e)	— 3
5	0,0	— 8 1/4	11	94,7 (e)	— 1 1/2
13	99,9	— 7	25	94,6	— 1
		II. AB = 10 mm.			
4	0,9 (a)	0	27	99,3	— 3/4
6	0,7	0	32	99,2	— 1
7	0,6	0	33	99,1	— 1 1/4
8	0,5	— 1/2	13	99,0	— 1 1/2
9	0,4	— 1	20	98,9	— 1 1/2
10	0,3	— 2 1/2	28	98,8	— 1 1/2
11	0,2	— 4	29	98,7	— 1 1/2
12	0,1	— 4	30	98,6	— 1 1/2
16	0,0	— 3 3/4	14	98,5	— 1 1/2
17	99,9	— 3 1/2	21	97,5	— 1 3/4
18	99,8	— 3	31	97,0	— 2
24	99,7	— 3	15	96,0	— 2
25	99,6	— 2 1/2	22	95,0	— 1 3/4
26	99,5	— 1	23	94,0	0
19	99,4	— 3/4			
		III. AB = 15 mm.			
1	1,0	0	17	99,1	— 1/2
2	0,9 (a)	0	18	99,0	0
6	0,5	—	19	98,9	0
7	0,4	— 1/2	33	98,8	0
8	0,3	— 1	20	98,5	0
9	0,2	— 2 1/2	21	98,0	— 1/4
10	0,1	— 3 1/2	22	97,5	— 1/2
11	0,0	— 3 1/2	23	97,0	— 1
30	99,9	— 3	24	96,5	— 1
12	99,8	— 2 1/2	34	96,0	— 1
13	99,7	— 2 1/2	25	95,5	— 1 1/4
14	99,6	— 2 1/2	26	95,0	— 1 1/4
31	99,5	— 2	27	94,8 (e)	— 1
32	99,4	— 1 1/2	28	94,7 (e)	— 1/4
15	99,3	— 1 1/2	35	94,6	—
16	99,2	— 1	29	94,5	0

21. Versuch.

6 Ischiadici. Längsquerschnittableitung. Nervenstrom compensirt. 8 Grove'sche Elemente. Tourenzahl 20 pro Sec. Anfangsstellung vor- und nachher 1,2. Endstellung ebenso 95,0. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0003 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0029 Sec. AB = 2 mm. ab = 4,5 mm. Ba = 10 mm.

Nr.	Sch.	A.	Nr.	Sch.	A.
1	bis 1,3	0	10	94,8	— 1
2	1,2 (a)	—	11	94,7	— 1/2
3	1,1	— 1	12	94,6	— 1/2
4	1,0	— 2	13	94,5	— 1/4
5	97,5	— 5	14	94,4	— 1/4
6	95,5	— 6	15	94,3	—
7	95,1	— 6 1/2	16	94,2	—
8	95,0 (e)	— 4	17	94,1	0
9	94,9	— 2 1/2			

22. Versuch.

6 Ischiadici. Längsquerschnittableitung. Durch den Nervenstrom bei rotirendem Rheodom bewirkter Galvanometerausschlag + 4. 8 Grove'sche Elemente. Tourenzahl 19,5. Anfangsstellung vor- und nachher 0,8. Endstellung ebenso 94,8. Dauer des Galvanometer-Contacts 0,0003 Sec. Dauer des polarisirenden Contacts 0,0028 Sec. AB = 3,5 mm. ab = 3 mm. Ba = 12 mm.

Nr.	Sch.	A.	A. o. N.	Nr.	Sch.	A.	A. o. N.
1	bis 0,9	+ 4	0	28	99,1	— 1 1/2	— 5 1/2
2	0,8 (a)	+ 4	0	8	99,0	— 1 1/4	— 5 1/4
3	0,7	+ 3 1/2	— 1/2	21	98,9	— 1 1/4	— 5 1/4
4	0,6	+ 2 1/2	— 1 1/2	22	98,8	— 1 1/4	— 5 1/4
5	0,5	+ 1	— 3	29	98,7	— 1 1/2	— 5 1/2
15	0,4	+ 1/2	— 3 1/2	30	98,6	— 1 1/2	— 5 1/2
16	0,3	— 3/4	— 4 3/4	31	96,5	— 2 1/4	— 6 1/4
23	0,2	— 2 1/2	— 6 1/2	32	96,0	— 2 1/4	— 6 1/4
24	0,1	— 4	— 8	9	95,5	— 2 1/2	— 6 1/2
6	0,0	— 4 3/4	— 8 3/4	10	95,0	— 2 1/2	— 6 1/2
17	99,9	— 4 3/4	— 8 3/4	11	94,9	— 2	— 6
18	99,8	— 5	— 9	12	94,8 (e)	+ 1	— 3
25	99,7	— 4	— 8	13	94,7	+ 1 1/2	— 2 1/2
26	99,6	— 3 3/4	— 7 3/4	14	94,6	+ 2 1/2	— 1 1/2
7	99,5	— 2 1/2	— 6 1/2	33	94,5	+ 3 1/4	— 3/4
19	99,4	— 2 1/2	— 6 1/2	34	94,4	+ 3 1/2	— 1/2
20	99,3	— 2 1/4	— 6 1/4	35	94,3	+ 3 3/4	— 1/4
27	99,2	— 2	— 6	36	94,2	+ 4	0

In der Mehrzahl der mit starken Strömen (4—10 Grove'sche Elemente) angestellten Versuche zeigte sich der Beginn sowohl der durch den anelektrotonischen wie der durch den katelektrotonischen Strom bewirkten Galvanometerausschläge bei der Anfangsstellung. Will man von einer „Ausbreitungsgeschwindigkeit“ dieser Ströme reden, so würde diese im Mittel für den anelektrotonischen zwischen ∞ und 298, für den katelektrotonischen zwischen ∞ und 229,5 m in der Secunde liegen. Die grösste für den anelektrotonischen Strom beobachtete „Geschwindigkeit“ betrug zwischen ∞ und 500, für den katelektrotonischen zwischen ∞ und 252 m in einer Secunde. Bei einer geringeren Zahl von Versuchen begannen die Ausschläge des Galvanometers erst bei einer Stellung, die um einen Theilstrich hinter der Anfangsstellung lag. Aus diesen Versuchen würde sich im Mittel eine „Fortpflanzungsgeschwindigkeit“ ergeben für den anelektrotonischen Strom zwischen 113 und 213, für den katelektrotonischen zwischen 135 und 276 m. Wenn die Anfangsstellung sich im Laufe des Versuchs verschoben hatte, so wurde bei der Berechnung der Mittelzahlen die der geringsten „Ausbreitungsgeschwindigkeit“ entsprechende Anfangsstellung angenommen.

Wie zu erwarten war, wuchsen die durch die elektrotonischen Ströme bewirkten Galvanometerausschläge Anfangs sehr schnell an, fernerhin sehr viel langsamer, ohne jedoch bei den zur Anwendung gelangten Polarisationsdauern ein Maximum erreicht zu haben.

Da der anelektrotonische und der katelektrotonische Strom in keinem Falle an demselben Nervenbündel untersucht wurden, war eine Vergleichung der Intensitäten beider nicht möglich.

Nach Oeffnung des polarisirenden Stromes zeigte sich ein zunächst sehr schnelles Abfallen sowohl des anelektrotonischen wie auch des katelektrotonischen Stromes, welches dann langsamer bis zur Null weiter erfolgte. Dieses war auf der Kathodenseite die einzige Nachwirkung der Polarisation. Auf der Anodenseite zeigte sich noch eine dem elektrotonischen Strome entgegengesetzte Nachwirkung, welche sich mit dem abklingenden anelektrotonischen Strome mischte oder diesem folgte. Bei Längsquerschnittableitung erwies sich diese Nachwirkung als die durch die Oeffnungserregung bewirkte negative Stromesschwankung, bei Längsschnittableitung ist sie der Ausdruck der proximalen Phase des Actionsstromes. Auf der Kathodenseite zeigte sich entsprechend der hier fehlenden Erregung bei der Oeffnung keine derartige Nachwirkung. Es bestätigen diese Versuche die von

Hermann[1]) gemachten Angaben und die von ihm gegebenen Erklärungen der elektrotonischen Nachströme.

Dass die durch die elektrotonischen Ströme bewirkten Ablenkungen schon minimale Zeit vor der Endstellung abzunehmen begannen, erklärt sich daraus, dass der polarisirende Contact zwischen Stellung 3 und der Endstellung (s. Fig. 3) schon vor dem Galvanometer-Contact geöffnet wird; also das Galvanometer zugleich noch durch die Polarisation, aber auch durch deren Nachwirkung beeinflusst wird. Die erste Nachwirkung der Polarisation besteht in einer Abnahme der elektrotonischen Ströme; also ist auch zwischen der Stellung 3 und der Endstellung eine Abnahme der Ablenkungen zu erwarten; wie es in der That der Fall ist.

Die Schliessungserregungswelle, welche an der Kathodenseite zu erwarten ist, erscheint zu dem katelektrotonischen Strome summirt.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregungswelle liess sich nur dann genau ermitteln, wenn die durch sie bewirkten Galvanometerausschläge unbeeinflusst von elektrotonischen Strömen oder Nachströmen waren. Sie betrug im Mittel 28 m in einer Secunde.

Einer besonderen Erwähnung werth sind die durch Anwendung schwächerer Polarisationen — welche theils durch Verminderung der Elementezahl, theils durch ansehnliche Vergrösserung des Widerstandes durch Verlängerung der polarisirten Nervenstrecke erzeugt wurden — hervorgerufenen elektrotonischen Ströme. Hier verging merkliche Zeit, bis am Galvanometer die ersten Ausschläge eintraten. Es gingen hier den elektrotonischen Strömen Erregungswellen voraus oder folgten ihnen nach. Solche bei Schliessung des Stromes an der Anodenseite dem elektrotonischen Strom vorausgehende Erregungswellen erwiesen sich schwächer, als Erregungswellen, welche an demselben Präparat mit Inductionsschlägen hervorgerufen waren; was wohl eine Folge der Beeinflussung durch den Anelektrotonus ist. Die Resultate dieser Versuche (13. und 14.) sind analog den von Bernstein gewonnenen.

Als wesentlichstes Resultat der vorliegenden Untersuchung hebe ich hervor, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit des elektrotonischen Stromes im Nerven sicher grösser als 500 bezw. 252 m in der Secunde, wahrscheinlich

1) Dieses Archiv Bd. 6 S. 357 ff., Bd. 33 S. 151 ff.

aber unmessbar gross ist, d. h. eine „Ausbreitungsgeschwindigkeit“ nicht existirt.

III. Schlussbemerkungen und Theorie.

Von

L. Hermann.

Auf Grund der mitgetheilten Versuche darf behauptet werden, dass es keine angebbare und mit derjenigen der Nervenerregung etwa vergleichbare Ausbreitungsgeschwindigkeit des Elektrotonus gibt. Die feinste Art des Nachweises, die physiologische, bestätigte die schon von v. Baranowski und Garrè erhaltenen Ergebnisse und lehrte, dass, wenn es eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Elektrotonus gäbe, dieselbe grösser sein müsste, als 140—250 m pro Secunde. Aber auch mit dem Rheotom zeigte sich, obwohl hier die Verhältnisse für den Nachweis viel ungünstiger sind, selbst in ziemlich grossen Abständen momentanes Vorhandensein des Elektrotonus bei der Schliessung des polarisirenden Stromes.

Diejenigen, welche von einer Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Elektrotonus sprechen, scheinen nicht überlegt zu haben, ob überhaupt ihre Fragestellung die richtige war. Wir kennen in der Physik zwei fundamental verschiedene Arten von Ausbreitung einer Veränderung über den Raum. Die eine, welche dem Schall, dem Lichte, den Wasserwellen eigen ist, wird durch eine Differentialgleichung von der allgemeinen Form $d^2u/dt^2 = k^2\,d^2u/dx^2$ charakterisirt; ihre Eigenschaften sind: die Ausbreitung geschieht wellenartig; die Welle hat eine bestimmte Fortpflanzungsgeschwindigkeit (k), d. h. sie legt der Zeit proportionale Strecken zurück; solange die Welle einen gewissen Punkt noch nicht erreicht hat, hat an demselben der Vorgang die Grösse Null; endlich kann an einer Stelle der Vorgang zu gegebener Zeit einen höheren Betrag haben als gleichzeitig an der Ausgangsstelle. Die zweite Hauptgattung von Ausbreitungsvorgängen wird durch die Differentialgleichung $du/dt = k\,d^2u/dx^2$ charakterisirt; hierher gehört die Wärmeleitung, die Diffusion. Ihre Haupteigenschaften sind: die Ausbreitung erfolgt nicht wellenartig, sondern in Gestalt der ausgleichenden Mittheilung eines Zu-

standes von Theilchen zu Theilchen, welche schliesslich zu einem stationären Zustande führt; niemals kann der Zustand an einer entfernten Stelle einen höheren Betrag erreichen als gleichzeitig an der Ausgangsstelle; es gibt keine Ausbreitungsgeschwindigkeit, sondern streng genommen ist die Veränderung momentan auch an entfernten Stellen, wenn auch in unendlich geringem Betrag vorhanden. Das Wärmeleitungsvermögen ist durchaus keine „Geschwindigkeit", sondern bezeichnet die Wärme m e n g e, welche in gegebener Zeit bei gegebener Temperaturdifferenz zweier Querschnitte zwischen beiden übergeht. Bei Vorgängen der zweiten Art von einer Fortpflanzungsgeschwindigkeit zu sprechen, wäre ein ebenso grosser Fehler, als beim Schall eine dem Wärmeleitungsvermögen analoge Grösse zu suchen.

Von den Vorgängen am Nerven gehört die Erregungsleitung nach Allem, was wir wissen, zu den Ausbreitungsvorgängen der ersten Art; sie erfolgt wellenförmig, mit einer bestimmten linearen Geschwindigkeit, und mit Erhaltung der Energie; die Veränderung beginnt an entfernten Stellen erst nach gegebener Zeit, erreicht dann aber den vollen Werth wie am Ausgangspunkt, während dieser schon völlig zur Ruhe gekommen sein kann.

Der Elektrotonus dagegen erinnert in allen uns bekannten Erscheinungen, ganz abgesehen von jeder Theorie, durchaus nur an die Vorgänge zweiter und gar nicht an diejenigen erster Art. Vor Allem stellt er eine stationäre, mit zunehmender Entfernung rasch abnehmende Veränderung dar, und noch Niemand hat etwas Wellenartiges von ihm gesehen, etwa dass der Elektrotonus an einer entfernten Stelle erst nach Oeffnung des polarisirenden Stromes beginnen oder auch nur eine Maximum haben könnte[1]). So ist es denn auch von vornherein mehr als unwahrscheinlich, dass er eine eigentliche Fortpflanzungs- oder Ausbreitungsgeschwindigkeit haben sollte.

Wie ist nun endlich der Elektrotonus theoretisch aufzufassen? An die du Bois-Reymond'sche Moleculardrehungstheorie denkt wohl heute Niemand mehr ernstlich, nachdem ihr Urheber sie selbst aufgegeben hat. Denn anders kann ich das in der bekannten Arbeit

---

1) Die von mir mit Samways und neuerdings von Boruttau angegebenen Erscheinungen an Kernleitern können hier nicht geltend gemacht werden, weil es sich bei denselben nicht um Nachahmung des Elektrotonus, sondern um Nachahmung der Erregungswelle handelte.

über die angebliche positive Polarisation Gesagte[1]) nicht auffassen. Die behauptete intrapolare Drehung der Molekeln konnte, wie ihr Vertreter schliesslich zugeben musste (a. a. O.), weder nach der Grotthus'schen Theorie noch nach elektrodynamischen Principien begreiflich erscheinen[2]). Ihr vermeintlicher directer Nachweis durch die angebliche positive Polarisation fiel sogleich in Nichts zusammen, als ich unmittelbar darauf nachwies, dass diese Erscheinung lediglich auf dem Actionsstrom des schwindenden Anelektrotonus beruht[3]). Endlich wäre, selbst wenn die intrapolare Molekeldrehung richtig gewesen wäre, auf keine Weise eine extrapolare im Sinne des Stromes zu begreifen gewesen. Ja du Bois-Reymond selbst musste erklären (a. a. O. S. 379), dass, wenn der extrapolare Elektrotonus auf polarisatorischer Stromausbreitung beruht, man „der misslichen Verpflichtung los wäre", die Ausbreitung des Elektrotonus über die Elektroden hinaus zu erklären. Mit anderen Worten: die moleculare Theorie des Elektrotonus existirt nicht mehr.

Eine andere Theorie des Elektrotonus, welche ich allerdings später zu Gunsten einer weit besseren aufgegeben habe, ist von mir 1867 ausgesprochen worden[4]). Sie besteht darin, dass die Kathode die Spaltung (Dissimilation) im Nerven beschleunigt und dadurch Negativität in ihrer Umgebung hervorbringt, die Anode umgekehrt sie verlangsamt und dadurch Positivität macht. Da aber die Spaltungsverlangsamung höchstens bis Null, der dadurch hervorgebrachte Strom also höchstens bis zur Grösse des Demarcationsstromes gehen könnte, während er in Wirklichkeit sehr viel (bis 25) mal grösser werden kann, so deutete ich auf die Möglichkeit hin, dass die Anode etwas der Spaltung Entgegengesetztes, eine Synthese (Assimilation) hervorbringen könnte. Dieser Gedanke wurde alsbald von du Bois-

---

1) Sitzungsber. d. preuss. Akad. S. 379, 402 ff., 1883. (Im Wiederabdruck Arch. f. [Anat. u.] Physiol. S. 37, 60 ff., 1884.)

2) In dem citirten Wiederabdruck seiner Abhandlung (S. 61) hat du Bois-Reymond einen Zusatz gemacht, den ich leider erst jetzt bemerke. Er hält mir vor, dass, wenn die elektrodynamische Auffassung der Molekeldrehung richtig wäre, der Nerv auch durch Fernwirkung elektrotonisirbar sein müsste, wovon nichts bekannt sei. Seltsam. Diesen Fernwirkungsversuch hatte ich selbst längst angestellt (dies Archiv Bd. 6 S. 335, 1872) und sein negatives Resultat zur Bekämpfung der elektrodynamischen Auffassung verwerthet!

3) Dieses Archiv Bd. 33 S. 103, 1883.

4) Untersuchungen zur Physiologie der Muskeln und Nerven. Heft 2 S. 41, 42. Berlin 1867.

Reymond als wohl für immer undiscutirbare „Zukunftsphysiologie“ bezeichnet [1]).

Ich habe die Genugthuung gehabt, dass diese Zukunftsphysiologie acceptirt worden ist. Hering und Biedermann haben später genau dieselbe Theorie des Elektrotonus aufgestellt und den so entstehenden Elektrotonus als „physiologischen“ bezeichnet, im Gegensatz zu anderen, dem Sinne nach gleichen Wirkungen, welche von einer physikalischen Ausbreitung des Stromes ungefähr im Sinne meiner Kernleitertheorie (Näheres s. unten) herrühren, und welche sie „physikalischen“ Elektrotonus nennen [2]). In diese Benennungen ist übrigens etwas Verwirrung gekommen, indem Andere (z. B. Bernstein) als physiologischen Elektrotonus die Wirkungen auf die Erregbarkeit, als physikalischen die galvanischen Erscheinungen bezeichnen, unabhängig von ihrer Ursache. Als entscheidend für die Annahme zweier ganz verschiedener Arten von Elektrotonus sieht Biedermann den Umstand an, dass erstens marklose Nerven von Muscheln keinen extrapolaren Katelektrotonus zeigen; also könne hier auch der Anelektrotonus nicht von Stromausbreitung allein herrühren, zumal er nur wenig mit dem Strome selbst zunimmt. Zweitens werde durch Aethereinwirkung auf Froschnerven die Ausbreitung des Elektrotonus auf der Anodenseite stark beschränkt. Allein diese beiden Momente erscheinen mir nicht zwingend genug, um etwas so Unwahrscheinliches anzunehmen, wie zwei verschiedene und gleichsam nur zufällig in ihrer Richtung übereinstimmende Ursachen des Elektrotonus. Für mich sind alle physiologischen Erscheinungen des Elektrotonus nur Wirkungen der Polarisation der Nervenkerne, diese aber zugleich Folge des Stromes und Ursache seiner extrapolaren Ausbreitung. Unter diesen physiologischen Wirkungen der positiven und negativen Polarisation [3]) hat Alles Platz, was ich selbst und später Hering und Biedermann als assimilative und dissimilative Veränderung angenommen haben. Was speciell die beiden erwähnten Thatsachen betrifft, so habe ich schon

1) Monatsber. d. preuss. Akad. 1867. S. 628. (Ges. Abhandl. Bd. 2 S. 344.)

2) Ber. d. österr. Akad. Math.-naturw. Cl. 3. Abth. Bd. 97 S. 145, 1888 und Biedermann's Elektrophysiologie S. 706 ff. Jena 1895.

3) Die Ausdrücke „positive“ und „negative“ Polarisation bezeichnen hier natürlich nur die positiv machende Kernpolarisation unter der Anode und die negativ machende unter der Kathode, und dürfen nicht verwechselt werden mit dem, was du Bois-Reymond als positive und negative Polarisation bezeichnete.

früher Kernleiter mit nur einseitiger Polarisation gefunden [1]), und der Muschelnerv scheint sich diesen in seinen Eigenschaften noch mehr zu nähern als der Froschnerv, der ja auch relativ schwachen Katelektrotonus hat; dies ist auch die Ansicht Boruttau's [2]), welcher an anderen marklosen Nerven ein Verhalten gefunden hat, das zwischen demjenigen des Frosch- und des Muschelnerven steht. Die Aetherwirkung kann ebenfalls als eine Herabdrückung der positiven Polarisirbarkeit aufgefasst werden [3]). Bezüglich dieser gibt übrigens eine neuere Arbeit von Boruttau [4]) sehr wichtige Aufklärungen.

Schliesslich bleibt also die von mir auf Grund von Versuchen, welche an eine Beobachtung Matteucci's anknüpften, aufgestellte „Kernleitertheorie" übrig. Hering und Biedermann nehmen für ihren „physikalischen" Elektrotonus ebenfalls eine Kernleitertheorie an, scheinen jedoch die Polarisation der Grenzfläche zwischen Kern und Hülle als nebensächlich zu betrachten, wenn nur der Kern besser leitet als die Hülle. Dies würde allerdings ausreichen, um zu erklären, warum nicht, wie es eine frühere Theorie von Grünhagen zur Folge hatte, die abgeleiteten Ströme auf der Gegenseite entgegengesetzte Richtung haben. Es reicht aber durchaus nicht hin, um eine über den gewöhnlichen Verlauf hinausgehende extrapolare Ausbreitung des Stromes, d. h. das Wesentliche des Elektrotonus, zu erklären. Dies zeigt schlagend ein einfacher Versuch, welchen schon Matteucci und Andere, und dann ich selbst mit verbesserten Hülfsmitteln angestellt habe: ersetzt man den Platindraht des mit Zinksulphatlösung gefüllten Rohres durch einen amalgamirten Zinkdraht, so tritt die Stromausbreitung nicht ein [5]). Auch ist gar nicht nachgewiesen, dass die Nervenfasern einen relativ gut leitenden Kern haben.

Was Hering und Biedermann zu ihrer abweichenden Ansicht veranlasst hat, ist leicht zu erkennen. Es ist die von mir selbst wiederholt hervorgehobene Lücke in der experimentellen Begründung der Kernleitertheorie, dass es mir nämlich trotz vielfacher

1) Dieses Archiv Bd. 6 S. 320, 1872.

2) Dieses Archiv Bd. 66 S. 285, 1897.

3) Geringe Quellung oder sonstige Oberflächenveränderung des Markes durch Aether könnte vielleicht zu Grunde liegen, da der Sitz der Polarisation vermuthlich die Markoberfläche ist (s. unten).

4) Dieses Archiv Bd. 68 S. 285, 1897.

5) S. dieses Archiv Bd. 5 S. 265, 1872.

Bemühungen[1]) nicht gelungen ist, einen Kernleiter herzustellen, dessen Kern nicht besser leitet als seine Hülle, aber polarisirbar ist. Theoretisch ist freilich von H. Weber in einer berühmt gewordenen mathematischen Untersuchung[2]) nachgewiesen worden, dass auch ein solcher Kernleiter die Stromausbreitung zeigen muss.

Hering und Biedermann können, wenn ihnen dieser mathematische Nachweis nicht zwingend erscheint, mit einigem Recht sagen, dass irgend etwas vorhanden sein muss, was den Strom nöthigt, überhaupt mit einem wesentlichen Antheil in den Kern einzutreten; erst dann kann die Polarisation eine Ausbreitung hervorbringen. Ein solcher Fall wird zweifellos vorliegen, wenn der Kern nicht bloss polarisirbar, sondern auch besser leitend ist als die Hülle. (Blosses gutes Leitungsvermögen ohne Polarisirbarkeit, wie beim Zinkdrahtversuch, wird zwar bewirken, dass die durch den Kern gehenden Strömungslinien relativ starke Stromantheile aufnehmen, nicht aber dass sie sich weiter als ohne dies gute Leitungsvermögen ausbreiten; auf die Gestalt der Strömungslinien wird nur das sog. Strombrechungsgesetz modificirend einwirken.)

Aber der gleiche Fall wird auch dann vorliegen — und hierin scheint mir die Beseitigung der vorhandenen Schwierigkeit zu liegen und somit die Aussicht, dass auch Hering und Biedermann der Kernleitertheorie des Elektrotonus vollständig zustimmen —, wenn der Kern zwar nicht besser leitet als die Hülle, aber einen sehr viel grösseren Querschnitt hat als letztere. Auch dann wird ein relativ grosser Stromantheil durch den Kern sich abgleichen, und nun wird die Grenzpolarisation die Ausbreitung bewirken. Ich habe bisher stets den ganzen Faserinhalt (Markscheide + Axencylinder) als Kern aufgefasst und habe keinen Grund hiervon abzuweichen. Vom Froschischiadicus finde ich eine zur Messung brauchbare Querschnittszeichnung in Böhm und v. Davidoff's Lehrbuch der Histologie, 1895, Fig. 81 S. 110[3]). In einem eingezeichneten Quadrat fand ich die Summe der im angegebenen Sinne genommenen Kernquerschnitte zu fast genau $^2/_3$ der ganzen

1) S. dieses Archiv Bd. 6. S. 347, Anm. 1872.

2) Borchardt's Journ. f. reine u. angew. Mathematik Bd. 75 S. 14 ff. 1872.

3) Die Messungen, welche Langendorff aus ähnlichem Anlass auf meinen Wunsch angestellt hat (dies Archiv Bd. 42 S. 63, 1887), sind für unseren Zweck nicht verwendbar, da sie nur lineare Verhältnisse betreffen.

Quadratfläche, die Kernquerschnitte verhalten sich also zur Mächtigkeit des ganzen interstitiellen Gewebes (incl. Neurilemme) wie 2:1. Es sind also sicher die Umstände vorhanden, welche zur elektrotonischen Ausbreitung nöthig scheinen. Auch würde hiernach zu verstehen sein, dass dünne, namentlich marklose Nervenfasern geringeren Elektrotonus zeigen.

Einige Autoren (z. B. Boruttau a. a. O.) sind mehr geneigt, den Axencylinder als Kern anzusehen. In diesem Falle könnte man ein relativ gutes specifisches Leitungsvermögen im Vergleich zur Markscheide annehmen, wenn ersterer überwiegend aus Eiweissstoffen, letztere mehr aus Fettkörpern besteht. Das Querschnittsverhältniss würde sich freilich dann etwas weniger günstig gestalten, da jetzt die Markscheiden zur Hüllensubstanz zu rechnen sind. Ich ziehe die andere Auffassung bis auf Weiteres vor, weil mir die Existenz und die Eigenschaften des Axencylinders am lebenden Nerven noch nicht festzustehen scheinen.

Biedermann führt an[1]), dass Hering an feuchten internodienfreien Grashalmen, welche mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllt sind, Elektrotonus gefunden hat; dann ist die Grenzfläche zwischen Kochsalzlösung und Wand polarisirbar, da blosses gutes Leitungsvermögen des Kernes den Elektrotonus schlechterdings nicht bewirken kann. Eine solche polarisirbare Grenzfläche nehmen auch Meissner und Boruttau an den von ihnen benutzten mannigfachen metalllosen Modellen an[2]). Biedermann beobachtet elektrotonische Wirkung an in Alkohol conservirten, mit 0,6 procentiger Kochsalzlösung imprägnirten Fühlern und Beinen von Krebsen. Auch hier müsste irgend eine Grenzpolarisation im Spiele sein; von gut leitendem Kern dürfte hier wohl kaum die Rede sein.

Schliesslich ist noch eine klare Vorstellung sehr wünschenswerth von der Art, wie bei Annahme der Kernleitertheorie sich nach der Schliessung des polarisirenden Stromes einerseits die Polarisation mit den von ihr herrührenden physiologischen Veränderungen, andererseits die Ausbreitung der Stromschleifen selbst, zeitlich entwickeln. Im Folgenden werde ich diese Aufgabe zu lösen versuchen.

1) Elektrophysiologie S. 704.
2) Vgl. Boruttau, dies Archiv Bd. 58 S. 5, 1894.

Eine völlig erschöpfende Lösung, d. h. infinitesimale Behandlung der Strometablirung in einem Cylinder mit polarisirbarem Kern, würde freilich die höchsten Ansprüche an die Analysis stellen, da schon die von Weber[1]) gegebene Berechnung des stationären Zustandes in einem solchen die höchste mathematische Kunst erforderte. Wir werden also näherungsweise vorgehen müssen.

Die einfache Anschauung ergibt zunächst Folgendes. Im ersten Augenblick nach der Schliessung des zugeführten Stromes ist noch keine Polarisation vorhanden, wir haben also nur die gewöhnliche Ausbreitung des Stromes, welche schon in geringer Entfernung von den Elektroden unmerklich ist; es ist das, was ich als „ordinäre Stromschleifen" bezeichnet habe. Die alsbald sich entwickelnde Polarisation an der Kernoberfläche bewirkt nun nach bekanntem Princip eine weithin gehende Ausbreitung des Stromes, indem die Polarisation wie ein für alle in den Kern eintretenden Stromfäden gleicher und stets zunehmender Uebergangswiderstand wirkt, welchem gegenüber die von der Länge der Stromfäden abhängigen Widerstandsdifferenzen mehr und mehr an Einfluss verlieren. Hierdurch muss die Vertheilung des Stromes über die Länge des Leiters immer gleichmässiger werden. Es lässt sich nun leicht ganz allgemein zeigen, dass, wenn in einem verzweigten Stromsystem ein Stromzweig durch eine in ihm auftretende Gegenkraft geschwächt wird, stets die dadurch eintretende Stromzunahme in einem beliebigen anderen Zweige genau so gross ist, wie der Strom, den die Gegenkraft, wenn sie allein im System vorhanden wäre, in dem betreffenden Zweige bewirken würde. Die Wirkungen der Polarisation auf irgend einen Stromfaden oder angelegten leitenden Bogen können daher ebensogut als durch die Polarisation abgedrängte Stromschleifen des polarisirenden Stromes, wie als durch die Polarisation hervorgebrachte selbstständige Ströme aufgefasst werden. Beide Auffassungen sind in ihren Resultaten genau identisch[2]). Wir können also sagen: zu den ursprünglich vorhandenen

1) Citat s. oben S. 282.

2) Vgl. dieses Archiv Bd. 7 S. 307, 320, 1872. Boruttau (dies Archiv Bd. 63 S. 154 f., 1896) hält beide Auffassungen, welche ich von Anfang an neben einander gegeben habe, irrthümlich für verschieden; der von ihm später angegebene Anlass (positive Polarisation bis über die Kathode hinaus, dies Archiv Bd. 66 S. 290, 1897) nöthigt wie mir scheint ebenfalls nicht, beide Auffassungen zu trennen.

ordinären Stromschleifen summiren sich algebraisch die von der Polarisation herrührenden Ströme, welche ungemein schnell auftreten müssen wegen der enorm schnellen Polarisirbarkeit der Nervenkerne[1]). Diese algebraische Summation bedeutet für die längeren Stromschleifen bedeutende Verstärkung, für einen Theil der kürzesten muss sie aber Schwächung bedeuten. Oder anders ausgedrückt: da die Polarisation den Strom mehr und mehr von den gewöhnlichen kurzen Bahnen in die längeren abdrängt, so muss in den ersteren der Strom von vornherein in Abnahme, in den letzteren in Zunahme begriffen sein, und es wird vielleicht einen gewissen Bereich geben, in welchem der Strom constant bleibt, oder erst zu- und dann abnimmt. Vermuthlich ist der Bereich der Zunahme so kurz, dass man kaum mit den ableitenden Bögen an ihn ausschliesslich gelangen kann.

Da diese Anschauungsbetrachtung vielleicht nicht genügend überzeugt, habe ich vereinfachte Fälle, welche erschöpfender Analyse zugänglich sind, genau untersucht. Die Untersuchung knüpft an analoge früher von mir behandelte Probleme an[2]).

Zunächst betrachten wir einen Strom, welcher sich in 2 in gleichem Grade polarisirbare Zweige, aber von verschiedenen Widerständen, w_1 und w_2, theilt; die Zweigströme haben die Intensitäten i_1 und i_2, der Hauptstrom, von der Kraft E geliefert, den Widerstand w und die Intensität i. Die Polarisationen seien p_1 und p_2 in den beiden Zweigen zur Zeit t, und Null für $t = 0$. Ist h die Constante der Polarisationsgeschwindigkeit (s. die citirten Arbeiten), so erhält man die Gleichungen

1) $$\frac{dp_1}{dt} = hi_1,$$

2) $$\frac{dp_2}{dt} = hi_2,$$

und aus den Kirchhoff'schen Sätzen:

3) $$i = i_1 + i_1,$$

4) $$i_1 w_1 - i_2 w_2 = p_2 - p_1,$$

5) $$iw + i_1 w_1 - E - p_1.$$

Durch Elimination von i_2, p_1 und p_2 aus diesen 5 Gleichungen erhält man

---

1) Vgl. hierüber dieses Archiv Bd. 42 S. 43, 1887.

2) S. dieses Archiv Bd. 38 S. 158 ff., 1886; Bd. 42 S. 74 ff., 1887; Bd. 63 S. 440, 1896.

6) $$(w_1 + w_2)\frac{di_1}{dt} - w_2\frac{di_2}{dt} = h(i - 2\,i_1),$$

7) $$w_1\frac{di_1}{dt} + w\frac{di}{dt} = -\,hi_1.$$

Aus diesen beiden simultanen Differentialgleichungen kann man i wegschaffen, indem man (6) und (7) noch einmal differentiirt und aus den so gewonnenen Gleichungen und Gleichung (7) alle von i abhängigen Grössen eliminirt. Man erhält so für i_1 die Differentialgleichung zweiter Ordnung:

8) $$\frac{d^2 i_1}{dt^2} + \frac{h\,(2\,w + w_1 + w_2)}{\Sigma ww}\frac{di_1}{dt} + \frac{h^2}{\Sigma ww}\,i_1 = 0,$$

worin Σww für $ww_1 + ww_2 + w_1 w_2$ gesetzt ist.

Führt man in (8) die Abkürzungen ein:

$$\frac{h\,(2\,w + w_1 + w_2)}{\Sigma ww} = 2\,\lambda \quad \text{und} \quad \frac{h^2}{\Sigma ww} = \mu^2,$$

so lautet das vollständige Integral von (8), da $\lambda > \mu$,

9) $$i_1 = Ae^{-(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - \mu^2})\,t} + Be^{-(\lambda - \sqrt{\lambda^2 - \mu^2})\,t},$$

worin e die Basis der natürlichen Logarithmen und A und B die beiden Integrationsconstanten. Setzt man noch zur Abkürzung

$$\sqrt{\lambda^2 - \mu^2} = \frac{h}{2\,\Sigma ww}\sqrt{4\,w^2 + (w_1 - w_2)^2} = r,$$

so nimmt (9) die Form an:

9a) $$i_1 = A\,e^{-(\lambda + r)\,t} + B\,e^{-(\lambda - r)\,t}.$$

Da für $t = 0$ die Polarisationen 0 sein sollen, so dass $i_1 = Ew_2/\Sigma ww$, so hat man zur Bestimmung der Constanten A und B die Gleichung

10) $$A + B = \frac{Ew_2}{\Sigma ww}.$$

Um noch eine zweite Gleichung für A und B zu erhalten, beachte man, dass für $t = \infty$ sowohl p_1 wie p_2 den Werth E annehmen müssen, ausser wenn das Polarisationsmaximum kleiner ist als E (über diesen Fall s. unten). Nun ist aber nach Gleichung (1)

$$p_1 = h\!\int\! i_1 dt,$$

also $$E = h\int_0^\infty i_1 dt.$$

Durch Ausführung dieser Integration, wenn man für i_1 seinen Werth aus (9 a) einsetzt, erhält man

11) $$E = h\left(\frac{A}{\lambda + r} + \frac{B}{\lambda - r}\right),$$

und nun lassen sich aus den beiden Gleichungen (10) und (11) die Werthe von A und B leicht berechnen und in die Gleichung (9a) einsetzen. Setzt man zugleich, ausser in den Exponenten, für λ und r ihre Werthe ein und benutzt die neuen Abkürzungen

$$a_1 = w_1\left(1 + \frac{2w}{w_2}\right) - w_2 \quad \text{und} \quad b = \sqrt{4w^2 + (w_1 - w_2)^2},$$

so nimmt Gleichung (9) die Gestalt an:

$$12) \qquad i_1 = \frac{Ew_2}{2b\,\Sigma ww}\left[(a_1 + b)\,e^{-(\lambda - r)t} - (a_1 - b)\,e^{-(\lambda + r)t}\right].$$

Man erkennt, dass i_1 sich als Ordinatendifferenz zweier Exponentialcurven darstellt, deren erste höher beginnt und weniger steil abfällt als die zweite. Unter gewissen Umständen wird also i_1 anfangs zunehmen und nach Erreichung eines Maximums wieder abnehmen können. Wenn dies möglich sein soll, so muss $di_1/dt = 0$, d. h.

$$-(\lambda - r)(a_1 + b)\,e^{-(\lambda - r)t} + (\lambda + r)(a_1 - b)\,e^{-(\lambda + r)t} = 0$$

werden können, oder was dasselbe ist, es muss

$$13) \qquad \frac{(\lambda + r)(a_1 - b)}{(\lambda - r)(a_1 + b)} = e^{2rt}$$

werden können, welche Gleichung dann zugleich die Zeit des Maximums ergibt. Sie kann aber nur dann erfüllt sein, wenn die linke Seite positiv und > 1 ist, d. h., da der Nenner stets positiv bleibt, wenn

$$(\lambda - r)(a_1 + b) < (\lambda + r)(a_1 - b),$$

also wenn

$$\lambda b < r a_1.$$

Durch Einsetzung der Werthe für die 4 Grössen ergibt sich als Bedingung der initialen Zunahme von i_1:

$$w_2^2 < w(w_1 - w_2),$$

oder

$$w_2 < \frac{1}{2}\left(\sqrt{w^2 + 4ww_1} - w\right).$$

Damit die Intensität im Zweige 1 zunehme, muss also vor Allem $w_1 > w_2$ sein; ausserdem aber spielt auch die Grösse der Differenz und die Grösse w eine Rolle.

Das Maximum von i_1 tritt in diesem Falle nach (13) ein zur Zeit

$$t = \frac{1}{2r}\,log\;nat\,\frac{(\lambda + r)(a_1 - b)}{(\lambda - r)(a_1 + b)}.$$

Setzt man diesen Werth von t in (12) ein, so erhält man den Betrag des Maximums von i_1, nämlich (unter Berücksichtigung, dass $e^{\log nat\, x} = x$):

$$i_{1\,max.} = \frac{Ew_2r}{b\,\Sigma ww}\sqrt{\frac{a_1^2 - b^2}{\lambda^2 - r^2}}\left[\frac{(\lambda - r)(a_1 + b)}{(\lambda + r)(a_1 - b)}\right]^{\frac{\lambda}{2r}},$$

worin noch die Werthe der Abkürzungszeichen einzusetzen sind (wobei noch einige Vereinfachungen eintreten). Der Maximalwerth von i_1 kann sehr beträchtlich den Anfangswerth übersteigen. Verhalten sich z. B. die Widerstände $w : w_1 : w_2$ wie $2 : 4 : 1$ (ein besonders leicht zu berechnender Fall), so ist das Maximum von i_1 fast das Doppelte des Anfangswerthes.

Dass der aus (13) sich ergebende Werth von t stets ein Maximum und nicht etwa ein Minimum von i_1 bezeichnet, lässt sich leicht mittels des zweiten Differentialquotienten nachweisen, ergibt sich übrigens schon aus der Natur der Aufgabe.

Der Gang der Polarisation p_1 lässt sich ebenfalls leicht übersehen. Es wird nämlich

$$14)\qquad p_1 = h\int i_1 dt = \frac{h\,Ew_2}{2b\,\Sigma ww}\left[\frac{a_1 + b}{\lambda - r}\left(1 - e^{-(\lambda - r)t}\right) - \frac{a_1 - b}{\lambda + r}\left(1 - e^{-(\lambda + r)t}\right)\right],$$

wobei wiederum zu Grunde gelegt ist, dass $p_1 = 0$ ist für $t = 0$. Da zur Zeit des Maximums von i_1 $di_1/dt = 0$ ist, so ist gleichzeitig auch $d^2p/dt^2 = 0$, d. h. die Curve der Polarisation hat zu dieser Zeit einen Wendepunkt, sie geht von convexem zu concavem Anstieg über (von der Abscissenaxe aus gesprochen). —

Bisher war angenommen, dass die Polarisationen p_1 und p_2 so weit zunehmen können, dass sie $= E$ werden, also der Strom ganz annullirt wird; dieser Fall würde z. B. gegeben sein, wenn $E = 1$ Volt wäre, und jeder der beiden Zweige ein Capillarelektrometer enthielte. Ist aber der Grenzwerth der erreichbaren Polarisation kleiner als E, so wird der Strom nicht annullirt. Auch für diesen Fall gelten die beiden Gleichungen (12) und (14). Die Constantengleichung (11) lässt sich nämlich noch auf eine andere, vom Endwerth der p_1 unabhängige Art ableiten und gilt also auch für den neuen Fall. Aus den Gleichungen (7) und (9) lässt sich nämlich i_1, und aus $i - i_1$ auch i_2 entwickeln und nimmt folgenden Ausdruck an:

$$i_2 = w\left[E - h\left(\frac{A}{\lambda+r} + \frac{B}{\lambda-r}\right) + A\left(\frac{h}{\lambda+r} - w - w_1\right)e^{-(s+r)t} \right.$$
$$\left. + B\left(\frac{h}{\lambda-r} - w - w_1\right)e^{-(s-r)t}\right].$$

Entwickelt man hieraus $p_2 = h\int i_2 dt$, so enthält der Ausdruck für p_2 ein Glied

$$\left[E - h\left(\frac{A}{\lambda+r} + \frac{B}{\lambda-r}\right)\right]t;$$

da aber die Polarisation unmöglich mit der Zeit ∞ werden kann, so muss der Factor

$$E - h\left(\frac{A}{\lambda+r} + \frac{B}{\lambda-r}\right) = 0$$

sein; das ist aber die Gleichung (11). Wir sehen also, dass die Gleichungen (12) und (14) auch für die Fall, dass p_1 einen Grenzwerth $< E$ erreicht, so lange gelten, bis dieser Grenzwerth erreicht ist[1]).

Die weitere Rechnung, und schon die Anschauung ergibt, dass die Polarisation in dem besser leitenden Zweige ihren Grenzwerth früher erreicht als im anderen, und dass in letzterem von da ab der Gang von i und p ein anderer wird als die Gleichungen (12) und (14) besagen. Haben beide Polarisationen ihren Grenzwerth erreicht, so bleibt von da ab die Strömung stationär. —

Ist endlich nur der eine der beiden Stromzweige polarisirbar, so sind die Verhältnisse sehr einfach und auch ohne die (übrigens sehr leichte) mathematische Behandlung übersehbar. Durch die Polarisation des einen Zweiges sinkt dessen Strom von Anfang an; der Strom wird immer mehr in den anderen Zweig gedrängt, und geht, falls die Polarisation nicht schon vorher einen Grenzwerth erreicht, schliesslich ganz durch den nicht polarisirbaren Zweig. —

Der Uebergang von unserem bisherigen Schema, in welchem der Strom sich nur auf zwei polarisirbare Bahnen zu verzweigen hatte, zu den Verhältnissen am Kernleiter und Nerven, wo unendlich viele solche Zweige vorhanden sind, lässt sich auf sehr verschiedene Arten bewerkstelligen, leider aber, wenigstens soweit ich selbst es

1) Setzt man in die soeben gegebene Gleichung für i_1 die Constanten A und B ein, so nimmt sie genau die Form der Gleichung (12) an; nur sind, wie es sein muss, w_1 und w_2 durchweg (auch in dem neu auftretenden a_2) vertauscht.

übersehen kann, nicht auf dem allein exacten Wege der infinitesimalen Behandlung für den continuirlichen Cylinder. Die Art, in welcher ich hier für die Anschauung des Lesers den Uebergang hinstellen will, macht es wünschenswerth, zuvor noch den Fall streng zu betrachten, wo der ungetheilte Strom i seine Intensität unverändert beibehält, sei es dadurch, dass man die Kraft E nach Maassgabe der Polarisation in den Zweigen beständig verstärkt, sei es von selber, weil die Polarisationen zu gering sind, um den Hauptstrom merklich zu beeinflussen. Da jetzt i constant ist, so ergibt sich aus den obigen Grundgleichungen (1) bis (5) sehr einfach für i_1 die Differentialgleichung:

14) $$\frac{di_1}{dt} + \frac{2h}{w_1 + w_2} i_1 = \frac{hi}{w_1 + w_2},$$

deren Integral, unter Berücksichtigung, dass für $t = 0$ offenbar $i_1 = \frac{w_2 i}{w_1 + w_2}$ sein muss, lautet

15) $$i_1 = \frac{i}{2}\left[1 - \frac{w_1 - w_2}{w_1 + w_2} e^{-\frac{2h}{w_1 + w_2} t}\right].$$

Für i_1 erhält man dieselbe Gleichung, nur mit Vertauschung von w_1 und w_2. Man erkennt, dass die Intensität in dem Zweige von grösserem Widerstand beständig zunimmt und in dem Zweige von kleinerem Widerstand beständig abnimmt, und dass beide Intensitäten dem Grenzwerthe $^1/_2\, i$ zustreben; in einem solchen einfachen System ist also eine Tendenz zu vollkommener Ausgleichung der Stromzweige vorhanden, welches auch ihr eigentlicher Widerstand sei, während im ersten Augenblick die Stromvertheilung den Widerständen umgekehrt proportional ist.

Stellt man die Gleichung für die Polarisationen p_1 und p_2 in beiden Zweigen auf, so ergibt sich, dass dieselben in's Unendliche wachsen. Dies ist aber ganz in der Ordnung, da ja die Annahme gemacht ist, dass der Hauptstrom trotz der Polarisation stets auf gleicher Höhe erhalten werde. —

Die eben eingeführte Vereinfachung, dass der Hauptstrom constant bleiben soll, gestattet nun, auch drei polarisirbare Zweige zu behandeln, ohne zu Differentialgleichungen von höherer als zweiter Ordnung zu gelangen. Sind in diesem Falle die Widerstände der drei Zweige w_1, w_2, w_3, so folgt aus den nach den Kirchhoff'schen

Sätzen aufgestellten Grundgleichungen, nach Elimination der Grössen p_1, p_2, p_3, i_2, i_3 und ihrer Differentialquotienten, für i_1 die Gleichung

$$16)\qquad \frac{d^2 i_1}{dt^2} + \frac{2h(w_1 + w_2 + w_3)}{\Sigma' ww}\frac{di_1}{dt} + \frac{3h^2}{\Sigma' ww} i_1 = \frac{h^2 i}{\Sigma' ww},$$

worin $\Sigma' ww$ bedeutet $w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3$. Setzt man hierin

$$\frac{h(w_1 + w_2 + w_3)}{\Sigma' ww} = \varrho, \quad \frac{3h^2}{\Sigma' ww} = \sigma^2 \text{ und } \sqrt{\varrho^2 - \sigma^2} = q,$$

so ist das vollständige Integral der Gleichung (16):

$$17)\qquad i_1 = \frac{h^2 i}{\sigma^2 \Sigma' ww} + A_1 e^{-(\varrho + q)t} + B_1 e^{-(\varrho - q)t}.$$ [1]

Da für $t = 0$ die Stromvertheilung den Widerständen umgekehrt proportional ist, so ist

$$\text{für } t = 0 \qquad i_1 = \frac{w_2 w_3}{\Sigma' ww} i.$$

Da ferner das erste Glied rechts in (17) $= {}^1/_3\, i$ ist, so erhält man zur Bestimmung der Constanten A_1 und B_1 die Gleichung

$$A_1 + B_1 = i\left(\frac{w_2 w_3}{\Sigma' ww} - \frac{1}{3}\right).$$

Die zweite Gleichung für A_1 und B_1 lässt sich nur auf einem Umwege herleiten. Stellt man die (17) analogen Gleichungen für i_2 und i_3 auf und nennt die entsprechenden Coefficienten A_2, A_3, B_2, B_3, so muss erstens, da $i_1 + i_2 + i_3$ jederzeit $= i$ sein müssen, $A_1 + A_2 + A_3 = 0$ und $B_1 + B_2 + B_3 = 0$ sein. Stellt man ferner für p_1 und p_2 ihre Gleichungen durch Integration auf und beachtet, dass $i_1 w_1 - i_2 w_2 = p_2 - p_1$ sein müssen, und dass dies auch für so kleine t gilt, dass $e^{-xt} = 1 - xt$ gesetzt werden darf, so gewinnt man die nöthigen Gleichungen, um $B_1 - A_1$ abzuleiten; es wird

$$B_1 - A_1 = i\,\frac{2w_1(w_2^2 + w_3^2) - (w_1^2 + w_2 w_3)(w_2 + w_3)}{3\,\Sigma' ww\,\sqrt{w_1^2 + w_2^2 + w_3^2 - \Sigma' ww}}.$$

Setzt man diesen Ausdruck zur Abkürzung $= N_1 i$, so erhält man nun als vollständigen Ausdruck für i_1

$$18)\qquad i_1 = i\left[\frac{1}{3} + \frac{1}{2}\left(\frac{w_2 w_3}{\Sigma' ww} - \frac{1}{3} - N_1\right)e^{-(\varrho + q)t} + \frac{1}{2}\left(\frac{w_2 w_3}{\Sigma' ww} - \frac{1}{3} + N_1\right)e^{-(\varrho - q)t}\right].$$ [2]

1) In dem Specialfalle $w_1 = w_2 = w_3$ gestaltet sich, da dann $\varrho = \sigma$ ist, das Integral anders. Die vollständige Durchrechnung dieses Falles ergibt, wie zu erwarten war, dass die drei Zweigintensitäten ihren Anfangswerth ${}^1/_3\, i$ beständig beibehalten.

2) Setzt man in dieser Gleichung $w_3 = \infty$, so geht sie genau in die Gleichung (15) über, wie es sein muss.

Für i_2 und i_3 sind die Gleichungen entsprechend, nur ist für $w_2 w_3$ einzusetzen $w_1 w_3$ resp. $w_1 w_2$, und ebenso sind in N_2 resp. N_3 die leicht ersichtlichen Aenderungen vorzunehmen.

Man erkennt sofort, dass auch hier alle Zweigintensitäten, so verschieden auch die Widerstände sein mögen, dem Werth $\frac{1}{3}i$, also der Gleichheit zustreben, welche sie für $t = \infty$ erreichen. Es nehmen also diejenigen Zweigintensitäten zu, deren Anfangswerth unter dem Mittelwerth $\frac{1}{3}i$ steht, die übrigen ab. In den meisten Fällen nimmt der Strom in zwei Zweigen zu, und nur in demjenigen vom kleinsten Widerstande ab; dies ist z. B. der Fall, wenn die 3 Widerstände linear abgestuft sind, so dass $w_3 - w_2 = w_2 - w_1$. Die Untersuchung der Differentialquotienten ergibt ferner, dass ein Maximum oder Minimum vor Erreichung des definitiven Werthes nicht möglich ist, d. h. dass in keinem Zweige ein zeitlicher Wechsel zwischen An- und Absteigen der Intensität stattfindet. —

Sind beliebig viele polarisirbare Zweige vorhanden, so wird ebenfalls offenbar die Tendenz zur vollständigen Ausgleichung aller Zweigströme vorhanden sein, und es wird, wenn die Widerstände linear abgestuft sind, stets in der grösseren Zahl der Zweige Zunahme, und nur in denjenigen mit den kleinsten Widerständen Abnahme der anfänglichen Stromstärke vorhanden sein. —

Die zur Erleichterung der Rechnung für mehr als 2 Zweige gemachte Annahme, dass der Hauptstrom auf unveränderter Höhe erhalten werden soll, lässt sich zwar verwirklichen, wird aber niemals von selbst zutreffen, sondern der Hauptstrom, und somit die Summe der Zweigströme muss durch die Polarisation abnehmen. Dies wird zur Folge haben, dass die bei unserer Annahme abnehmenden Zweigströme noch stärker abnehmen, und dass die zunehmenden weniger stark zunehmen und schliesslich ebenfalls abnehmen, zum Theil auch überhaupt keine Zunahme erfahren. Beschränken wir uns jedoch überhaupt auf kurze Durchströmungen, so werden die Ergebnisse auch auf diesen Fall, der den Verhältnissen des Kernleiters entspricht, im Wesentlichen anwendbar sein, und das um so mehr, je mehr die Einflüsse der Polarisation auf den Hauptstrom selbst vernachlässigt werden können. Mit anderen Worten: am Kernleiter und besonders am Nerven ist zu erwarten, dass in der ersten Zeit

nach der Schliessung fast im ganzen extrapolaren Bereich, von der allernächsten Nähe der Elektroden abgesehen, die in den Kern eintretenden Stromzweige überall in rascher Zunahme begriffen sind, also auch diejenigen Ableitungen derselben, welche ein angelegter leitender Bogen aufnimmt.

Ob im Nerven ein stationärer Zustand erreicht werden kann, wissen wir nicht, weil sehr lange Durchströmung durch Elektrotransfusion und andere Umstände schädigend wirkt. Derselbe würde ausserdem davon abhängen, wie hoch das Polarisationsmaximum liegt, und ob dasselbe mit den anwendbaren Strömen überhaupt erreichbar ist, da doch ein erheblicher Theil des zugeleiteten Stromes überhaupt nicht in den Kern eintritt, sondern sich in den indifferenten Hüllen abgleicht.

Nach der Oeffnung des polarisirenden Stromes müssen natürlich alle seine Zweige augenblicklich verschwinden. Die Polarisation selbst aber bleibt noch kurze Zeit bestehen und verursacht intrapolar dem durchgeleiteten Strome entgegengesetzte, extrapolar gleichsinnige, also in der Richtung mit den elektrotonischen Stromzweigen übereinstimmende Depolarisationsströme. Diese extrapolaren Nachströme sind aber von viel niedrigerer Ordnung als die eben geschwundenen Stromzweige, namentlich wenn die Durchströmung nur kurz war. Der Elektrotonus muss also im Augenblick der Oeffnung plötzlich auf ein viel niedrigeres Niveau herabsinken, und dies zeigt sich in der That in den Versuchen von Bernstein (vgl. oben S. 253) und in denjenigen von Weiss.

Mit dem Elektrotonus und seinen eigentlichen Nachströmen treten nun die mit der Schliessung und Oeffnung des polarisirenden Stromes verbundenen Actionsströme theilweise in Conflict. Für die gewöhnliche, wellenförmig ablaufende Schliessungserregung ist dies, wegen ihres relativ langsamen Ablaufes, nur in geringem Maasse der Fall (s. oben S. 252), mehr aber für die Dauererregungen, welchen eine Zeit lang nach der Schliessung die Kathodenstrecke, und eine Zeit lang nach der Oeffnung die Anodenstrecke unterliegt. Das Wesentliche über diesen Gegenstand habe ich schon in früheren Arbeiten entwickelt[1]. Die kathodische Dauererregung ist wahr-

1) Dieses Archiv Bd. 6 S. 357, 1872 und namentlich Bd. 33 S. 152 ff., 1883; an diesen Stellen sind auch meine und Fick's Beobachtungen über elektrotonische Nachströme angeführt.

scheinlich die Ursache, warum der an sich schwächere extrapolare Katelektrotonus anfangs scheinbar verstärkt ist und während der Beobachtung abnimmt. Die anodische Dauererregung nach der Oeffnung ist die Ursache: 1) der intrapolaren positiven Nachwirkung, welche ihr Entdecker du Bois-Reymond fälschlich für positive Polarisation hielt, 2) der von mir beobachteten abpolaren Phase des extrapolaren anelektrotonischen Nachstromes[1]). Bei den kurzen Stromschlüssen des Rheotoms kommen auch diese Erscheinungen kaum zur Geltung.

Man sieht aus der ganzen Darstellung, dass ich die Polarisation und die mit ihrem Entstehen und Verschwinden verbundene Erregung, welche sich wellenartig fortpflanzt, als zwei ganz verschiedene Vorgänge streng aus einander halte, also auch der Meinung Boruttau's[2]), dass der extrapolare Katelektrotonus überall mit der durch die anlangende Erregungswelle auftretenden Negativität beginne, nicht zustimme. Obwohl ich selbst mit Samways zuerst wellenartige Erscheinungen an künstlichen Kernleitern beobachtet habe[3]) und die sich hieran anschliessenden Arbeiten Boruttau's auf diesem Gebiete mit grossem Interesse verfolge, bin ich aus theoretischen Gründen noch weit entfernt, den Kernleiter als ein Nervenmodell auch in Bezug auf Erregung zu betrachten, für mich ist er noch immer nur ein Modell des Elektrotonus. Meine theoretischen Bedenken habe ich schon früher ausgesprochen; obwohl die Vorgänge in der Umgebung einer erregten Stelle vermöge des Actionsstromes und des polaren Erregungsgesetzes ganz dazu angethan scheinen, die Nachbarschaft zu erregen und die erregte Stelle zu beruhigen, war es doch bisher unmöglich, eine Differentialgleichung abzuleiten, welche nicht bloss ausgleichende Ausbreitung, sondern

1) Aus der erstgenannten Stelle der vorigen Anm. ist zu ersehen, dass die richtige Deutung dieser abpolaren Phase zuerst von Pflüger privatim ausgesprochen worden ist.

2) Dieses Archiv Bd. 58 S. 51, 1894.

3) Dieses Archiv Bd. 35 S. 1, 1884.

wellenförmige Fortpflanzung der Erregung bedeutet[1]). Nach wie vor aber betrachte ich eine solche Ableitung als nicht aussichtslos, sobald wir noch weitere Eigenschaften des Nerven kennen gelernt haben werden, welche sich vielleicht auch künstlich nachahmen lassen.

Wir glauben in dieser Arbeit gezeigt zu haben, 1) dass eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Elektrotonus nicht existirt, 2) dass alle bekannten Erscheinungen des Elektrotonus sich aus der Kernleitertheorie befriedigend erklären lassen.

---

1) Vgl. Handbuch der Physiologie Bd. 2 Abth. 1 S. 194, 195, 1879. Die von Boruttau versuchte theoretische Darstellung (dies Archiv Bd. 63 S. 154 ff., 1896) genügt ebenfalls nicht, um einen wellenförmigen Ablauf herzuleiten.

Zur Geschichte der Lehre von der thierischen Elektricität.

Von

L. Hermann.

Vor Kurzem ist die Rede, welche Herr I. Rosenthal zum Gedächtniss du Bois-Reymond's vor der physikalischen und physiologischen Gesellschaft in Berlin gehalten hat, im Druck erschienen[1]). Bei akademischen „Éloges“ hält man bekanntlich dem Redner Einiges zu Gute; man verlangt nicht, dass er sich auch über Irrthümer und Schwächen des Gefeierten verbreite, obwohl edlere Naturen das Bedürfniss empfinden und ihm Rechnung tragen werden, auch solche Seiten nicht zu unterdrücken und aus Zeitumständen und menschlichen Eigenthümlichkeiten zu erklären. Rosenthal, welcher offenbar den banaleren Standpunkt einnahm, obwohl das Andenken eines grossen Forschers unter der Anerkennung einiger kleinen Missgriffe nicht gelitten hätte, hatte daher nicht nöthig, auf die fast vergessene Molecularhypothese überhaupt einzugehen, und mich vollends konnte er ganz unerwähnt lassen. Der Redner aber ersparte seinen Zuhörern nicht die Aufwärmung längst erledigter Streitpunkte, und hat sich dabei unentschuldbare Unrichtigkeiten und Entstellungen erlaubt, gegen welche Einspruch zu erheben ich nicht nur mir selbst, sondern auch der Wissenschaft schuldig bin.

1) Beilage zum Jahrgang 1897 des Archivs für Anatomie und Physiologie. Ich hatte die Rede schon in der Berliner Nationalzeitung gelesen, aber schon desswegen dazu geschwiegen, weil die Authenticität dieses Abdruckes nicht verbürgt war. Ein Abdruck im biol. Centralblatt war mir entgangen. Wie man sieht, hat der Redner Alles gethan, um seinen Aeusserungen möglichst grosse Verbreitung zu geben. Hätte er sich nur an Fachgenossen gewandt, so könnte ich schweigen; denn das Urtheil der Physiologen über die berührten Fragen steht längst fest, und in ihren Kreisen hat, wie ich weiss, die Rede vorwiegend Entrüstung oder Heiterkeit erregt.

Nach Rosenthal's feierlichem Verdict habe ich auf dem Gebiete der thierischen Elektricität in mehr als dreissigjähriger Arbeit nichts geleistet, als Hypothesen aufgestellt, und Hypothesen wie die meinigen haben für die Wissenschaft „geringen oder keinen Werth".

Entweder hat Rosenthal von der Entwicklung dieses Gebietes in den letzten drei Decennien keine Ahnung, dann war er für die von ihm übernommene Aufgabe gänzlich ungeeignet, oder er handelt mit bewusster Leichtfertigkeit und verdreht einem momentanen Eindruck zu Liebe auf das Dreisteste die Thatsachen. Diese schweren Anschuldigungen werde ich kurz begründen.

Die Hauptthatsache, welche ich gegenüber du Bois-Reymond gefunden habe, war die vollkommene Stromlosigkeit unverletzter ruhender Muskeln. Hiermit fiel die Molecular-Hypothese, welche bis dahin allgemein geherrscht hatte, unrettbar in Nichts zusammen. Rosenthal thut so, als wenn jene Stromlosigkeit eine blosse Behauptung wäre, während heute allgemein anerkannt ist, dass es leicht ist, geeignete Muskeln mit vollster Sicherheit stromlos zu präpariren. Aber er sagt weiter, selbst wenn man diese Stromlosigkeit zugebe, sei die Molecularhypothese nicht widerlegt. Als ob es darauf ankäme, Jemand, der Vergnügen am Hypothesenmachen findet, daran zu verhindern, und nicht vielmehr darauf, ob die geringste Nothwendigkeit zur Hypothese vorliegt; denn der elementarste Grundsatz naturwissenschaftlichen Denkens ist, sich zu Annahmen immer nur durch Thatsachen zwingen zu lassen. Rosenthal hat sich ein leidliches Beispiel ausgesonnen, um einen analogen Fall zu construiren. Wenn man einen in sich geschlossenen, nach aussen wirkungslosen Ringmagneten anschneidet, so bietet er magnetische Flächen dar; diese werden den Physiker nöthigen, ein System orientirter magnetischer Theilchen in der Stahlmasse anzunehmen. Aber wenn ein Forscher ganz neu an diese Erscheinung heranträte, würde er doch vor Allem auf das Peinlichste untersuchen, ob nicht näher liegende Ursachen vorhanden sind, ob nicht die Anlegung des Querschnitts Umstände mit sich bringt, welche die Erscheinungen verursachen. Erst nach Beseitigung aller solcher Möglichkeiten würde er sich zu einer so weitgehenden Annahme entschliessen wie die der Molekeln, welche übrigens gegenwärtig sogar für den Magneten ziemlich aufgegeben ist. Am Muskel aber liegt eine directe Erklärung der elektromotorischen Erscheinungen ausserordentlich nahe, denn die Anlegung des Querschnitts, selbst wenn sie mit dem berühmten

Obsidianmesser erfolgt[1]), bewirkt nachweisbar gewaltige locale Veränderungen, fortkriechendes Absterben. Was liegt näher, als die von mir gemachte Annahme, dass die erst jetzt, und zwar nach einer kurzen Latenzzeit, auftretende Potentialdifferenz von diesen Veränderungen herrührt, dass sie an der stets vorhandenen Grenze zwischen todtem und lebendigem Protoplasma ihren Sitz hat? Der Hypothesenmacher ist hier Derjenige, welcher diese gewaltigen Vorgänge am Querschnitt ohne jede Prüfung als elektromotorisch wirkungslos proklamirt und lieber ein vorgebildetes System von Molekeln in der ganzen Masse annimmt. Dieser Vorwurf trifft nicht du Bois-Reymond, welcher seine Hypothese niemals aufgestellt hätte, wenn er gleich anfangs die Stromlosigkeit unverletzter Muskeln erkannt hätte, sondern Rosenthal, welcher sie auch nach Entdeckung dieser Stromlosigkeit aufrecht erhält — weil sie nun einmal da ist; Hypothesen sind schon öfters von Denkern gewisser Gattung mit Naturoffenbarungen verwechselt worden.

Muss ich Rosenthal daran erinnern, dass du Bois-Reymond in seinen ersten Versuchen nur Muskeln vor sich hatte, deren Sehnenspiegel durch die gesättigte Salzlösung seiner damaligen Elektroden angeätzt waren, dass die gleiche Anätzung auch dem vermeintlichen Nachweis des Muskelstroms am unenthäuteten Frosche zu Grunde lag, dessen Hautströme erst fortgeätzt werden mussten? Und soll ich wirklich noch Worte verlieren über die verhängnissvolle Annahme parelektronomischer Molekeln an den natürlichen Faserenden zur Erklärung der allmälig sich enthüllenden Stromlosigkeit derselben? Diese Hypothese ad hoc musste später durch immer neue Hypothesen ergänzt werden, als es galt, das Verhalten stromloser Muskeln bei der Erregung einigermaassen zu erklären. Alle diese Hülfshypothesen nimmt Rosenthal offenbar noch heute ernst und hält sie aufrecht, und hat trotzdem den Muth, zu sagen: „Müssen aber immer neue Hülfshypothesen gemacht werden, um jede Einzelerscheinung zu deuten, dann ist der Zweck der wissenschaftlichen Betrachtung . . . nicht erreicht.“ Man fragt sich erstaunt, ob diese Worte gegen mich oder nicht vielmehr gegen du Bois-Reymond gerichtet sind; denn in meiner Erklärung der thierisch-elektrischen Erscheinungen, welche in zwei kurzen Sätzen besteht, kommen „Hülfshypothesen“ überhaupt gar nicht vor.

1) Untersuchungen über thierische Elektricität Bd. 2 Abth. 2 S. 83.

Weniger hat es mich bei der von Rosenthal an den Tag gelegten oberflächlichen Kenntniss des Gebietes überrascht, dass er von anderen „regelmässigen elektrischen Erscheinungen“ als an Muskeln, Nerven, elektrischen Fischorganen und Drüsen nichts weiss; es ist ihm entgangen, dass die Ströme verletzter, bluthaltiger Organe jeder Art, verletzter Pflanzengebilde, der verhornenden und verschleimenden Epithelien von mir auf genau das gleiche einfache Princip zurückgeführt worden sind, wie die Ruheströme der Nerven und Muskeln, dass an allen diesen Gebilden von einer Molecularhypothese schlechterdings keine Rede sein kann, und dass die elektrische Reaction aller Protoplasmen auf partielles Absterben ein allgemeines Naturgesetz ist, dessen Erkenntniss unendlich viel mehr werth ist als alle molecularen Lehrgebäude.

Alles wird aber weit übertroffen durch die Art, wie Rosenthal mit den galvanischen Erscheinungen bei der Erregung umspringt. du Bois-Reymond hatte 1876 den Ablauf von Erregungswellen im indirect gereizten Muskel überhaupt bestritten und von den Erregungsschwankungen derselben eine sehr verwickelte Erklärung gegeben. Hierauf habe ich durch Versuche, welche seitdem häufig von Anderen bestätigt worden sind, die phasischen Actionsströme indirect gereizter Muskeln, und zwar auf beiden Seiten des Nerveneintritts, auf das Vollständigste nachgewiesen, habe diesen Nachweis sogar am Menschen unwiderleglich geführt und später diese Actionsströme durch ein neues Verfahren mit Matthias photographisch registrirt, sowohl am Frosche wie am Menschen. Diese Reihe mit einander zusammenhängender Untersuchungen, welche im Verständniss aller elektrischen Erscheinungen im thätigen Muskel keine einzige Lücke übrig gelassen hat, fertigt Rosenthal unglaublicher Weise mit folgenden Worten ab: „Hermann hat hierzu noch die Hypothese (sic!) gefügt, dass bei Erregung des Muskels vom Nerven aus analoge elektrische Wellen von der Nerveneintrittsstelle aus nach den Enden des Muskels hinlaufen.“ Wenn man ein so frivoles Spiel treibt, eine vollkommen strenge, von Vielen bestätigte, von Niemand bestrittene Reihe thatsächlicher Feststellungen eine „Hypothese“ zu nennen, dann streicht man sich aus der Reihe der ernst zu nehmenden Autoren.

Die negative Schwankung und die Actionsströme, welche Rosenthal noch heute aus Molekeldrehungen erklären will, habe ich auf den einfachen Satz zurückgeführt, dass nicht bloss das Absterben,

sondern auch die Erregung, welche mit dem Absterbeprocess zahllose tiefe Analogieen hat, die von ihr ergriffenen Protoplasmatheile negativ macht gegen den unveränderten Rest. Will vielleicht Rosenthal dies eine „Hülfshypothese“ ad hoc nennen und die Molekeldrehung durch die Erregung nicht? Sollte er wirklich nicht begreifen, dass im Gegentheil dieser zweite Theil meiner Erklärung im innigsten Zusammenhange mit dem ersten steht, sodass sogar, wenn der Actionsstrom noch nicht entdeckt gewesen wäre, er von einem hervorragenden Kopfe hätte vorausgesagt werden können? Und gibt es ein anderes physiologisches Gebiet, dessen sämmtliche complicirte Erscheinungen so vollständig aus zwei mit einander innig zusammenhängenden Inductionssätzen erklärt werden können, wie das der thierischen Elektricität? Wäre es in einer anderen Naturwissenschaft denkbar, dass Jemand diese einfache Ableitung eine Häufung von Hypothesen nennt und lieber eine widerlegte, tief unwahrscheinliche Kette von Hypothesen ad hoc als unerschüttert hinstellt? Noch dazu von Hypothesen, welche absolut nichts genützt haben, nicht einmal in heuristischem Sinne.

Rosenthal scheint zwar die Molekeldrehung für den Elektrotonus nicht entbehren zu können; er weiss von der Literatur seines Gegenstandes so wenig, dass er nicht einmal du Bois-Reymond's spätere Arbeiten gelesen hat; sonst müsste ihm bekannt sein, dass diese unglücklichste Anwendung der Moleculartheorie, welche gerade in der Hauptsache, nämlich extrapolar, nicht das Verlangte leistete, von ihrem Urheber selbst im Wesentlichen aufgegeben worden ist, und das in dem Augenblicke, als er in der vermeintlichen intrapolaren positiven Polarisation ein neues Argument für sie zu finden glaubte; freilich in Folge eines schweren, von mir durch Thatsachen aufgeklärten Irrthums. Rosenthal aber hat aus dem Allen nichts gelernt; noch immer steht er auf dem Standpunkt von 1849. Er sagt das zwar nicht ausdrücklich, aber wie sollte man es sonst verstehen, dass er den Elektrotonus und die Kernleitertheorie überhaupt erwähnt? Oder sollte dies nur geschehen sein, um keine Gelegenheit zu versäumen, seine Unkenntniss zu verrathen? Die einzigen Einwände, welche Rosenthal gegen meine Erklärung des Elektrotonus erhebt, sind beide eclatante Unrichtigkeiten. Ich soll nach ihm den Versuch, die elektrotonischen Erregbarkeitsänderungen zu erklären, nicht gemacht haben; es scheint also, dass die du Bois'sche Theorie eine solche Erklärung enthalten soll (sonst hätte der Satz in seinem

Zusammenhange überhaupt keinen Sinn). Gerade im Gegentheil, während die du Bois'sche Moleculardrehungstheorie auf der Anoden- und Kathodenseite gleiche Molekelstellung behauptet, also für das Verständniss entgegengesetzter Erregbarkeitsänderungen absolut keinen Anhalt bietet, habe ich schon 1871 darauf hingewiesen, dass die von mir dem Elektrotonus zu Grunde gelegte Polarisation auf der Anoden- und Kathodenseite entgegengesetztes Vorzeichen hat, also die entgegengesetzten Erregbarkeitsänderungen begreiflich erscheinen lässt. Man sieht, dieser Rosenthal'sche Satz ist so unüberlegt wie möglich. Zweitens soll ich hinreichend starke Polarisationen nicht nachgewiesen haben. Ich habe sie nachgewiesen und gemessen, darf mich aber nicht wundern, dass Rosenthal, dessen letzte Kenntnisse über den Gegenstand über 20 Jahre alt sind, eine ausführliche Arbeit von mir aus dem Jahre 1887 nicht kennt.

Rosenthal braucht ferner die Molekeln, weil so rasche Zustandsänderungen wie im tetanisirten Muskel „chemisch" nicht begreifbar seien; ein pro Secunde mehr als 100 maliges Wechseln von Spaltung und Synthese, wie ich sie annehme (oder von Dis- und Assimilation in späterer Ausdrucksweise), sei nicht denkbar. Selbst wenn der Redner meinen Hinweis auf die enorme Labilität der wirksamen chemischen Verbindungen in Nerv und Muskeln, sowie die analogen späteren Betrachtungen von Pflüger und von Hering in seiner Manier für leeres Hypothesenspiel hält, sollte er sich doch hüten, den Geschwindigkeiten unbekannter und mit Elektricitätsbeziehungen eng verquickter chemischer Vorgänge eine willkürliche Grenze zu setzen. Wenn aber dies Geschwindigkeitsbedürfniss schliesslich die einzige Stütze sein soll für das ganze grosse Gebäude der Molecularhypothese, aus welcher noch nie Jemand irgend eine Bewegungs- oder Erregungserscheinung hat erklären können, so steht es schlimm damit. Die „physikalischen" Köpfe, welche Rosenthal in Gegensatz bringt zu den „chemischen" (zu welchen ich von ihm gezählt zu werden die Ehre habe), werden erstaunt sein, dass ihnen Rosenthal besondere Neigung zu molecularen Hypothesen zuschreibt, und werden die Ersten sein, die ihn in seiner molecularen Einsamkeit im Stich lassen.

Du Bois-Reymond war ein zu hochstehender Forscher, es ist bei ihm über zu viele grossartige Entdeckungen, Erfindungen und Denkresultate zu berichten, als dass es nöthig war, zu seinem Todtenopfer den wissenschaftlichen Gegner eines seiner Lieblings-

gedanken abzuschlachten. Ich bedauere, dass gerade dieser Anlass mir die Feder in die Hand gedrückt hat, während ich sonst nach wie vor geschwiegen hätte über Alles, was nicht unmittelbar zum streitigen Gegenstande gehört. Aber einst wird eine parteilose Geschichte der Elektrophysiologie geschrieben werden, schonungslos, wie du Bois-Reymond ein furchtbar schonungsloser Kritiker war. Die simpelste Gerechtigkeit verlangt, dass der Verfasser der „Untersuchungen über thierische Elektricität" auch in seinen wenigen Irrthümern mit demselben strengen Maasse gemessen wird, welches dieses Werk rücksichtslos auf die damaligen Autoritäten, wie Matteucci und Valentin, anwandte[1]). Gerade an diesem Sarge die gesunden Principien der naturwissenschaftlichen Kritik zu verleugnen, kann durch keine Pietätsgründe entschuldigt werden.

1) Als ein Beispiel, dass diese gewiss überwiegend wohlthätig wirkende Härte auch nachtheilige Wirkungen auf die Schule ausübte, führe ich hier eine Stelle aus einer mit Recht vergessenen Anfängerarbeit von 1866 an (Zeitschr. f. Biologie Bd. 2 S. 400); der Autor sagt wörtlich, seine Experimente seien „mehr zu dem Zwecke unternommen, die Angabe Matteucci's als unhaltbar zu erweisen, als dieselbe zu prüfen".

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Graz.)

Ueber die Darstellung und einige Reactionen der Cholalsäure.

Von

Dr. **Fritz Pregl,** Assistenten am Institut.

Schon im Juni 1897 ist es mir gelungen, durch Einwirkung von siedender JH-Säure und rothem Phosphor auf Cholalsäure zu der dieser entsprechenden einwerthigen Monocarbonsäure und von dieser durch Behandeln mit siedender HNO_3 weiters zu einem Nitrosubstitutionsproducte der von P. T. Clève entdeckten und von ihm, Latschinoff und Mylius, genau untersuchten Biliansäure, nämlich einer Trinitrobiliansäure zu gelangen.

Ich sehe mich veranlasst, schon jetzt die Ergebnisse meiner Untersuchungen über Cholalsäure zu veröffentlichen, weil Dr. Mich. Senkowski in Krakau eine diesen verwandte Arbeit der Veröffentlichung zugeführt hat. Im Anzeiger der kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien, Jahrg. 1898, Nr. 1 ist zu lesen, dass Herr Dr. M. Senkowski in Krakau eine Arbeit „Ueber die Einwirkung von Reductionsmitteln auf Cholsäure" überreicht hat, worin er mittheilt, dass er durch Reduction der Cholalsäure mit JH-Säure und Phosphor bei 100° eine neue Säure von der Formel $C_{24}H_{40}O_3$ erhalten hat, für die er den Namen Cholylsäure vorschlägt, und dass er sich die Bearbeitung der Brom- und Nitrosubstitutionsproducte ihres Anhydrides vorbehält.

Das erste, womit ich begonnen habe, war natürlich die Darstellung einer für die voraussichtlich viel Material erfordernden Versuche hinreichend grossen Menge reiner Cholalsäure. Anfänglich arbeitete ich nach Mylius[1]) und machte mir damals schon die

---

1) Mylius, Notiz über die Darstellung und die Eigenschaften der Cholsäure, Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 12 S. 262—266.

Winke, die Lassar-Cohn[1]) zur Darstellung der Cholalsäure gegeben, zu Nutze. Später hat sich auf Grund der bei so oftmaliger Darstellung erworbenen Erfahrungen ein Verfahren herausgebildet, welches ich auf's Beste empfehlen möchte.

Von 9 Kilo Rindergalle, der Menge, die jedes Mal in Arbeit genommen wurde, wurde das Klare in einen grossen eisernen Kessel, der ca. 12 l fasst, abgegossen, mit 500 g Aetzkali versetzt und zum Kochen erhitzt. Auf diesen Kessel passte ein Deckel, der in Folge seiner grossen Oberfläche als Rückflusskühler bei Anwendung einer einzigen Bunsenflamme so ausgezeichnet wirkte, dass man die Flüssigkeit beruhigt über Nacht im Sieden erhalten konnte. Zum Ersetzen des verdampften Wassers wurde Wasserleitungswasser verwendet, mit dem man den trüben Rückstand der Galle öfters durch Decantation gewaschen hatte. Nachdem so die Galle durch 24 Stunden im Kochen erhalten worden war, wurde der Deckel abgenommen und in die noch heisse Flüssigkeit Kohlensäure eingeleitet. Als ein ungemein praktisches Laboratoriumsgeräthe erwies sich dabei ein Cylinder mit flüssiger Kohlensäure, da man grosse Mengen Kohlensäure zur Sättigung braucht. Mit dem Einleiten hört man auf, sobald eine, mit einem Tropfen Phenolphthaleïnlösung roth gefärbte Probe der Flüssigkeit durch Chlorbaryum im Ueberschuss entfärbt wird. Nun wird die zerkochte Galle Anfangs über freier Flamme[2]), zuletzt am Wasserbade unter stetem Umrühren bis zu Syrupdicke eingedampft und sofort, also noch heiss, in einen Kolben zu 1 bis höchstens $1^1/_2$ l 96 %igen Alkohol gegossen und öfter kräftig umgeschüttelt. Dann lässt man einige Stunden ruhig stehen, wobei Schichtung eintritt, und trennt hierauf im Scheidetrichter die wässerige, hauptsächlich Kaliumcarbonat enthaltende Lösung von der darüber befindlichen alkoholischen Lösung der Kalisalze der organischen Säuren, hauptsächlich der Cholalsäure. Die abgezogene wässerige Lösung schüttelt man nachher noch mit einer kleinen Menge Alkohol aus und entzieht ihr so auch die letzten Reste Cholalsäure. Die vereinigten alkoholischen Ausschüttelungen werden in einem grossen Präparatencylinder mit Wasserleitungswasser so weit verdünnt, dass der Gehalt

1) Lassar-Cohn, Die Säuren der menschlichen Galle, Zeitschrift f. physiolog. Chemie Bd. 19 S. 561—573 und Bericht d. d. chem. Ges. Bd. 27 S. 1339—1346.

2) Mit grossem Vortheil kam dabei der Hitzesammler nach Peters und Rost, Berlin, in Verwendung.

an Alkohol nach dem Verdünnen ca. 20—25 % beträgt. Nun versetzt man so lange mit Chlorbaryum (10 %), als noch ein Niederschlag entsteht. Die schwerlöslichen Barytsalze der Choleïn- und und der höheren Fettsäuren lässt man sich setzen, hebert das Klare ab und filtrirt (nicht absaugen!) den Rest. (Weil das Barytsalz der Choleïnsäure nicht ganz unlöslich ist, hüte man sich, grössere Mengen von Alkohol zum Ausschütteln zu verwenden, als unbedingt nothwendig ist.)

Das Filtrat von den Barytsalzen und die abgeheberte klare Lösung werden in einer grossen Abdampfschale vereinigt und unter fortwährendem Rühren mit concentrirter Salzsäure in kleinen Portionen bis zur sauren Reaction versetzt. Dieser Punkt gibt sich durch eine diffuse milchige Trübung der ganzen Flüssigkeit zu erkennen. Nach kurzem Stehen wird die über dem an der Wand und am Glasstabe klebenden, harzigen Kuchen, der rohen Cholalsäure, befindliche Flüssigkeit in grosse Filtrirstutzen abgegossen, der Kuchen mit etwas Brunnenwasser durchgeknetet und stehen gelassen. Die Qualität der so gewonnenen Rohsäure erweist sich bei verschiedenen Darstellungen oft verschieden; dies zeigt sich schon darin, dass sie manchmal schon nach wenigen Minuten krystallinisch wird und dann Kuchen bildet, die, was Härte und Bruch anlangt, fast an Schiffszwieback erinnern; manchmal wieder bedarf es Stunden, bis der Kuchen fest wird.

Die Rohsäure wird nun zerkleinert, an der Luft getrocknet, was mehrere Tage dauert, und schliesslich gepulvert. Ausbeute an Rohsäure aus Rindergalle aus dem Grazer Schlachthause 400—450 g. Die vom Rohsäurekuchen abgegossene Mutterlauge lässt nach 24 Stunden beträchtliche Mengen (20—30 g) krystallinischer, oft auffallend reiner (Schmp. 190°) Cholalsäure fallen.

Die gepulverte, trockene Rohsäure krystallisirt man nun nicht sofort um, sondern reibt sie mit 96 %igem, kaltem Alkohol, dem zuvor 1 bis 2 ccm Ammoniak zugesetzt worden sind, zu einem dünnen Brei an, lässt einige Zeit in der Kälte stehen und saugt dann auf einem Büchner'schen Trichter scharf ab. Dadurch stumpft man erstens alle zurückgebliebene Salzsäure ab, entfernt den grössten Theil der Farbstoffe und hat noch das jedenfalls nachtheilige Erwärmen umgangen. Ueberdies kann man durch Einengen dieser Mutterlauge einen grossen Theil der darin enthaltenen Cholalsäure gewinnen. Durch diese Reinigung hat die im Trichter befindliche

Säure fast die Reinheit einer einmal umkrystallisirten erhalten; man krystallisirt nun ein- oder zwei Mal aus heissem Alkohol um, bis der Schmelzpunkt 195° erreicht ist, was der allerzeitraubendste Theil der Darstellung reiner Cholalsäure ist. Sollte dieser Schmelzpunkt (195°) nicht erreicht werden, und sollte sich eine ammoniakalische Probe der Säure mit Chlorbaryum trüben, so ist als sicher anzunehmen, dass ein Fehler bei der Darstellung unterlaufen; man müsste dann die Säure in Barytwasser lösen und aus dem Filtrate mit Salzsäure wieder ausfällen, um sie rein zu erhalten, ein Verfahren, das übrigens schon Vahlen[1]) geübt und empfohlen hat.

Nach der eben geschilderten Reinigungsmethode habe ich z. B. aus 400 g Rohsäure 332 g reiner Cholalsäure erhalten, was als eine wesentlich bessere Ausbeute anzusehen ist, als jene, die man durch alleiniges Umkrystallisiren erzielt.

Bei dem Studium der vorhandenen Literatur über die Cholalsäure muss es auffallen, dass mit wenigen Ausnahmen ihr gegenüber nur Oxydationsmittel, und zwar zuerst Chromsäuregemisch[2]), dann Kaliumpermanganat in alkalischer Lösung[3]), bald darauf Salpetersäure[4]) und Chromsäure in Eisessig[5]) in Verwendung gezogen wurden.

---

1) E. Vahlen, Die specifische Rotation der Cholalsäure, Choleïnsäure und Desoxycholsäure, Zeitschr. f. physiolog. Chemie Bd. 21 S. 253—273.

2) H. Tappeiner, Vorläufige Mittheilung über die Cholsäure, Ber. d. d. chem. Ges. Bd. 6 S. 1285, 1873; Ueber die Oxydation der Cholsäure mit saurem chromsaurem Kali und Schwefelsäure, Zeitschr. f. Biol. Bd. 12 S. 60, 1876 und Sitzungsber. d. Wiener Akademie, Bd. 87, 2. Abth, April 1878. — P. Latschinoff, Ueber Cholsäure, Bericht d. d. chem. Ges. Bd. 10 S. 2059, 1877; Ueber ein bemerkenswerthes Oxydationsproduct der Cholsäure, Ber. d. d. chem. Ges. Bd. 12, S. 1518—1528, 1879; Ber. Bd. 19, S. 474—482, 1521—1528, 1529—1532, 1886. — Mylius, Ueber die Cholsäure, Ber. d. d. chem. Ges. Bd. 19 S. 369—379, 2000—2009, 1886. — E. Egger, Bilinsäure, ein neues Oxydationsproduct der Cholsäure, Ber. d. d. chem. Ges. Bd. 12 S. 1068—1070, 1879 und Bull. soc. chim. Bd. 34 S. 57.

3) P. K. Clève, Sur les produits d'oxydation de l'acide cholalique. Compt. rend. Bd. 91 S. 1073—1074 und Bull. soc. chim. Bd. 35 S. 373—379, 429—433, 1881. — Destrem, Bull. soc. chim. Bd. 33 S. 187, 1880 und Compt. rend. Bd. 87 S. 880. — Senkowski, Zur Kenntniss der Constitution der Cholsäure, Wiener Sitzungsber. Bd. 54 S. 803—805.

4) Sieh Latchinoff. — P. T. Clève, Om Choloidausyre. Ofversigt af Kongl. Vetenskaps-Akad. förh Nro. 4, 1882, Stockholm und Maly's Jahresbericht Bd. 12 S. 304.

5) Olof Hammarsten, Ueber Dehydrocholsäure, ein neues Oxydationsproduct der Cholalsäure Nova Acta Reg. Soc. Scient. Upsal. Serie 3, 1881 und Ber. d. d. chem. Ges., Bd. 14 S. 71, 1881.

Hierher wäre auch die von Gorup-Besanez[1]) zuerst ausgeführte und später von Lassar-Cohn[2]) mit grosser Sorgfalt wiederholte Kaliumhydroxydschmelze zu rechnen.

Unter den wenigen anderen Reactionen, denen die Cholalsäure unterworfen wurde, finden sich nur zwei Reductionen, und zwar solche milder Art; die eine, Faulenlassen der Galle, lieferte Mylius[3]), die sogenannte Desoxycholsäure, und mit der anderen stellte E. Vahlen[4]) mit der Desoxycholsäure nahe verwandte oder sogar identische Körper dar.

Dieser Umstand war für mich Veranlassung, die Cholalsäure der Wirkung stärkerer Reductionsmittel auszusetzen; ich wählte als erstes die Zinkstaubdestillation.

Es findet sich zwar in der Literatur schon eine Zinkstaubdestillation der Cholalsäure, welche Destrem[5]) ausgeführt hat, verzeichnet, doch sind die Angaben so dürftig, dass eine Wiederholung nicht überflüssig erschien.

Nach den entsprechend abgeänderten Vorversuchen wurde dazu folgendes Verfahren eingeschlagen. In ein weites, an einem Ende schief nach abwärts ausgezogenes Hartglasrohr wurde ein lockerer Asbestpfropf bis nahe an den Knick eingeschoben, darauf eine Schichte von 10 cm Zinkstaubbimsstein und auf diesen eine innige Mischung von einem Theil Cholalsäure und vier Theilen Zinkstaub gebracht, worauf das Rohr wieder mit einem Asbestpfropf verschlossen wurde. Nachdem durch Klopfen eine sehr geräumige Rinne über dem Zinkstaubgemische erzeugt worden war, kam das Rohr in den wie bei der N-Bestimmung schief gestellten Verbrennungsofen. Sein offenes Ende war mittelst eines durchbohrten Korkes mit einem Wasserstoffapparat in Verbindung, und an sein schnabelförmiges Ende wurde mit einem Korke ein weithalsiger Fractionirkolben angesetzt, dessen seitlicher Ansatz mit zwei äthergefüllten Waschflaschen ver-

1) Gorup-Besanez, Beiträge zur Kenntniss der Cholsäure, Ann. d. Chem. Bd. 157 S. 282.

2) Lassar-Cohn, Ueber die Cholsäure und einige Derivate derselben Zeitschr. f. physiol. Chemie, Bd. 16 S. 488—504 und Ber. d. d. chem. Ges. Bd. 25 S. 803—811, 1892.

3) Mylius, Ueber die Cholsäure, Ber. d. d. chem. Ges. Bd. 19.

4) E. Vahlen, Ueber Desoxycholsäure, Zeitschr. f. physiolog. Chemie Bd. 23 I S. 99—108, 1896.

5) Destrem, Bull. soc. chim. Bd. 33 S. 187, 1880 und Compt. rend. Bd. 87 S. 880.

bunden war. Nun wurde so lange Wasserstoff durchgeleitet, bis alle Luft verdrängt war, und hierauf, vom Zinkstaubbimsstein angefangen, nach rückwärts fortschreitend, mit kleinen Flammen erhitzt. Sofort beginnt aus dem Schnabel ein dunkelbraunes, zähes Oel abzutropfen, und der Aether nimmt zusehends an Gelbfärbung zu. In etwa 15 Minuten ist die Destillation zu Ende.

Der Inhalt des Fractionirkolbens, der sich durch einen höchst charakteristischen Geruch auszeichnet, wurde in einen Kolben gegossen, mit dem Inhalte der Waschflaschen vollends nachgewaschen und schliesslich der Aether am Wasserbade verjagt. Nach Zusatz von Wasser wurde das obenauf schwimmende Destillat der Dampfstromdestillation unterzogen und in einen mit Wasserdampf flüchtigen, auf Wasser schwimmenden und einen nicht flüchtigen, in Wasser untersinkenden Antheil geschieden. Der erstere ist hellgelb und enthält den riechenden Körper. Die Hälfte der mit Chlorcalcium getrockneten ätherischen Lösung wurde in einem ganz kleinen Fractionirkölbchen von Aether befreit und der Destillation unter gewöhnlichem Druck unterzogen. Nachdem der letzte Rest von Aether übergegangen war, begann das Thermometer langsam und gleichmässig zu steigen; nur bei 215—220° und um 300° herum konnte ein langsameres Ansteigen des Fadens bemerkt werden.

Der Rückstand der Hälfte der trockenen ätherischen Lösung von dem mit Wasserdampf nicht flüchtigen Antheile wurde bei einem Druck von 11 mm Hg fractionirt destillirt. Das Sieden beginnt bei 70°, und unter stetigem Ansteigen des Quecksilberfadens gewinnt man Fractionen, die zunehmend dunkler und zähflüssiger werden. Unterbricht man die Destillation bei ca. 260°, so bleibt ein Drittel der ursprünglichen Menge im Destillationskolben als schwarzbraune, nach dem Erkalten halbfeste Masse zurück, welche in CS_2 leicht, in Aether schwer, in Ligroïn nur zum Theil löslich ist. Destillirt man im Vacuum weiter, so erreicht man bei gleichmässigem Steigen des Fadens eine Temperatur von gegen 400°, ohne dass Alles übergegangen wäre. Das Auftreten von Krystallen, wie Destrem es angibt, konnte niemals bei der Destillation beobachtet werden. Eine weitere Trennung der gewonnenen Fractionen durch wiederholte Fractionirung gelingt nicht; immer findet man dasselbe gleichmässige Ansteigen der Temperatur und die wichtige Thatsache, dass die hochsiedenden Antheile auf Kosten der niedriger siedenden zunehmen.

Aus diesen Beobachtungen war zu entnehmen, dass das Zink-

staubdestillat ein Gemisch mehrerer Kohlenwasserstoffe ist, die durch fractionirte Destillation nicht nur nicht trennbar sind, sondern bei derselben sogar im Vacuum Zersetzung erleiden. Bei diesem Umstande wurde von der Analyse der einzelnen Fractionen Abstand genommen; sie hätten höchstens im Vereine mit Moleculargewichtsbestimmungen, wozu es an Material fehlte, vielleicht einigen Einblick in die Natur dieser Körper gestattet.

Die bei den Destillationen gewonnenen Antheile und die Trockenrückstände der aufbehaltenen ätherischen Lösungen dienten mir zu zwei Reactionen, über die ich summarisch berichten will.

Jede Portion des Destillates vermag erhebliche Mengen von Brom in CS_2-Lösung unter Entbindung von Bromwasserstoff zu entfärben. Es handelt sich demnach um gesättigte Verbindungen. Nach Verdampfen des CS_2 bleiben meist gelb gefärbte, schmierige, scharfriechende Bromsubstitutionsproducte zurück.

Jeder Antheil, und zwar die niedriger siedenden leichter als die höher siedenden, reagiren mit kalter conc. Salpetersäure in der Weise, dass spontan unter Erwärmung lebhafte Oxydation mit Ausstossung von salpetrigsauren Dämpfen und Lösung eintritt. Auf Zusatz von Wasser fallen schwefelgelb bis braun gefärbte, flockige Körper mit bedeutendem Stickstoffgehalte aus. Es ist demnach neben Oxydation wahrscheinlich Nitrirung eingetreten. Der Versuch, die so erhaltenen Nitrokörper durch fractionirte Krystallisation zu trennen, führte zu acht Fractionen mit Schmelzpunkten von etwa 80°—190°. Trotz Anwendung der verschiedensten Lösungsmittel waren die Körper nicht zum Krystallisiren zu bringen.

Da die Zinkstaubdestillation keine greifbaren Körper geliefert, versuchte ich die Cholalsäure durch Erhitzen mit Jodwasserstoffsäure und rothem Phosphor im Rohre bis zum Kohlenwasserstoffe zu reduciren. Obwohl nie mehr als 10 ccm JH und 2 g Cholalsäure verwendet wurden, hielten selbst Jenaer Hartglasröhren diese Reaction nicht aus. Ein einziges Mal, als 0,6 Cholalsäure, 5 ccm bei 0° gesättigter Jodwasserstoffsäure und 1 g rothen Phosphors unter allmäliger Steigerung bis zu 270° durch 8 Stunden im Schiessofen erhitzt wurden, blieb die Röhre erhalten. Die vom Phosphor abfiltrirte ätherische Lösung des Kohlenwasserstoffes wurde am Wasserbade vom Aether befreit und einige Tage im Vacuum über Schwefelsäure und Paraffin stehen gelassen. Der erhaltene Körper ist hellgelb,

durchsichtig, von festweicher Consistenz und erinnert an eine der mittleren Fractionen des Zinkstaubdestillates.

Bei der Verbrennung lieferten 0,0983 g 0,0988 g H_2O und 0,3190 g CO_2, woraus sich seine Zusammensetzung zu

11,25 % H und
88,52 % C berechnet.
99,77

Die Summe beider Procentzahlen unterscheidet sich von 100 um den Betrag von nur 0,23 %, der also noch innerhalb der Fehler der Methode fällt. Der Körper ist demnach zweifellos ein Kohlenwasserstoff.

Die gefundenen Zahlen stimmen aber weder mit der Zusammensetzung des theoretisch postulirten Grundkohlenwasserstoffes der Cholalsäure $C_{24}H_{42}$, noch mit dem von Destrem erwähnten Kohlenwasserstoffe $C_{24}H_{32}$, sondern mit dem eines Körpers, dessen Anzahl der Kohlenstoffatome zu der der Wasserstoffatome sich verhält wie 2 : 3, z. B. $C_{24}H_{36}$. Aus der folgenden Tabelle ist dies am besten zu ersehen.

	C	H
$C_{24}H_{42}$	87,18	12,82
$C_{24}H_{32}$	89,93	10,07
$C_{24}H_{36}$	88,81	11,19
Analysirtes Product .	88,52	11,25

Die geringe Menge dieses Körpers, die nach der Analyse noch zur Verfügung stand, gestattete die Ausführung der bei der Zinkstaubdestillation erwähnten Reaction mit Brom und Salpetersäure, welch' beide ebenso wie dort verlaufen.

Einwirkung von siedender JH-Säure und rothem Phosphor auf Cholalsäure.

10 g bei 130° getrockneter reiner Cholalsäure wurden mit 2 g frisch gewaschenen, rothen Phosphors auf's innigste verrieben und in einem Kölbchen mit 100 g kurz zuvor über rothem Phosphor abdestillirter JH-Säure vom Siedepunkt 127° übergossen, rasch umgeschüttelt und zuerst am Wasserbade etwa ½ bis eine Stunde, und dann noch über der Flamme so lange zum Sieden erhitzt, bis der auf der Säure schwimmende rothe Kuchen des Reactionsproductes nicht mehr Blasen schlug. Dann wurde rasch der ganze Inhalt des

Kolbens in eine Abdampfschale entleert und der Kuchen sofort in kaltes Wasser gebracht, worin er zu einer äusserst spröden Masse erstarrt, die noch feucht auf's feinste zerrieben, in viel Wasser aufgeschwemmt, abgesaugt und gewaschen wurde. Die vom rothen Phosphor abfiltrirte, rothgelb gefärbte, ätherische Lösung konnte durch Ausschütteln mit sehr verdünnter Kalilauge bis auf eine schwach gelbliche Färbung entfärbt werden. Nach Ablassen der Kalilösung und tüchtigem Ausschütteln mit Wasser wurde mit einem Ueberschuss von verdünnter Kalilauge der Rest aufgenommen, der Aether am Wasserbade verjagt, die alkalische Lösung filtrirt und nach dem Erkalten mit einem geringen Ueberschuss von Salzsäure ein weisser, amorpher Niederschlag gefällt, der sich zu einer salbenähnlichen Masse absaugen und im Vacuum zu einem nach dem Zerreiben weissen Pulver trocknen lässt.

1) 0,1193 g lieferten bei der Verbrennung 0,0992 g H_2O und 0,3135 g CO_2.

2) 0,1027 g lieferten bei der Verbrennung 0,0836 g H_2O und 0,2701 g CO_2.

Daraus berechnet sich der procentische Gehalt für C und H zu:

	C %	H %
1)	71,68	9,31
2)	71,74	9,11

Da diese Werthe keinem der voraussichtlich möglichen Reductionsproducte der Cholalsäure entsprechen, musste es sich um eine grobe Verunreinigung handeln, die auch thatsächlich in dem Jodgehalte der Substanz erkannt wurde.

0,2220 g Substanz lieferten nach Carius 0,0367 g AgJ, was einem Gehalte von 8,88 % J entspricht. Da die Annahme einer einheitlichen, aber jodhaltigen Substanz wegen des riesigen Moleculargewichtes, das sich aus dem geringen Jodgehalte ergeben würde, von der Hand zu weisen ist, bleibt nur die Annahme, dass es sich um einen jodfreien Körper handelt, der mit einem jodhaltigen Körper verunreinigt erscheint.

Rechnet man dementsprechend die vorstehend mitgetheilten Analysenwerthe auf jodfreie Substanz um, so erhält man Zahlen, die, namentlich für C, auf eine Cholalsäure, die, ausser in der COOH-Gruppe, sonst keinen Sauerstoff mehr enthält, also auf die, der Cholalsäure entsprechende einwerthige Monocarbonsäure, stimmen.

	C %	H %
1)	79,76	10,36
2)	79,95	10,16
Berechnet für $C_{24}H_{40}O_{3}$ . .	79,93	11,19

Dieser unreine, sowie auch der später zu erwähnende gereinigte Körper gibt die Pettenkofer'sche Gallensäuren-Reaction. Er löst sich etwas in Kali- und Natronlauge, noch schwerer in Ammoniak. Aus den Lösungen seiner Salze wird er durch Säuren, ja sogar durch längeres Einleiten von CO_2 gefällt, ferner gibt er schwerlösliche Niederschläge mit Barytsalzen und den Salzen der Schwermetalle.

Erwärmt man nach der Fällung mit Säuren im Wasserbade, so ballt sich der Niederschlag zusammen und setzt sich als sandiges Pulver zu Boden. Filtrirt man davon ab und wäscht gut nach, so ist eine Aenderung der Eigenschaften insofern aufgetreten, als der Körper in kalten Alkalien überhaupt nicht mehr, sondern nur nach anhaltendem Kochen löslich ist. Es scheint sich hier um ein Anhydrid zu handeln, was um so wahrscheinlicher ist, als die Cholalsäure auch so leicht Anhydride, die sogenannten Dyslysine, bildet.

Die analysirte Substanz ist in Wasser fast unlöslich, leichter in Alkohol, sehr leicht in Aether, Benzol, Aceton und Eisessig löslich. Da weder sie noch ihre Salze zum Krystallisiren zu bringen waren, wurde zur Isolirung des jodfreien Körpers das Verfahren der fractionirten Ausschüttelung gewählt. Zu diesem Ende wurde die nach der vorhin beschriebenen Darstellung erhaltene, gelblich gefärbte, ätherische Lösung fractionirt mit unzureichenden Mengen sehr verdünnter Kalilauge anhaltend ausgeschüttelt und jede der so erhaltenen fünf Kalisalzlösungen mit verdünnter Essigsäure gefällt, der Niederschlag abgesaugt, gewaschen und im Vacuum getrocknet.

Die so erhaltenen fünf Fractionen wurden nach dem Verfahren von Beilstein[1]) mit Kupferoxyd in der Flamme auf Halogen geprüft. Es ergab sich dabei, dass die erste Fraction die stärkste, die dritte die schwächste und die beiden letzten gar keine Grünfärbung der Flamme bewirkten. Diese beiden Fractionen zeigten, im Capillarrohr erhitzt, nach vorherigem Erweichen einen Schmelzpunkt von 117 bis 120 ° C.

---

1) Ber. d. d. chem. Ges. Bd. 5 S. 620.

Bei der Verbrennung lieferten diese Fractionen folgende Werthe:

0,1763 g der vorletzten Fraction gaben 0,1657 g H_2O und 0,5098 CO_2.

0,1378 g der letzten Fraction gaben 0,1339 g H_2O und 0,3998 CO_2.

	C %	H %
Vorletzte Fraction . . .	78,88	10,52
Letzte Fraction	79,14	10,88
Berechnet für $C_{24}H_{40}O_2$.	79,93	11,19

Demnach muss man sich vorstellen, dass durch die Einwirkung siedender JH-Säure bei Gegenwart von rothem Phosphor auf Cholalsäure, welcher nach Mylius die Formel

$$C_{20}H_{31}\begin{array}{l}COOH\\CH_2OH\\CH_2OH\\CHOH\end{array}$$

zukommt, grösstentheils ein Körper entsteht, dem die Formel

$$C_{20}H_{31}\begin{array}{l}COOH\\CH_3\\CH_3\\CH_2\end{array}$$

zukommt, also eine einbasische Carbonsäure, die kein alkoholisches Hydroxyl mehr enthält, da die zwei endständigen primären Alkoholgruppen zu Methylgruppen und die secundäre Alkoholgruppe zu einer Methylengruppe reducirt werden.

Trinitrobiliansäure.

Trägt man in heisse concentrirte Salpetersäure das vorher feingepulverte Jodwasserstoffsäure-Reactionsproduct, also die der Cholalsäure entsprechende, einwerthige Monocarbonsäure portionenweise ein, wobei jedesmal lebhafte Reaction unter Ausstossung salpetrigsaurer Dämpfe eintritt, so lange noch vollständige Lösung erfolgt, und kocht, bis die Dampfentwicklung geringer geworden, so fällt beim Verdünnen mit dem 3—4fachen Volum Wasser ein schwefelgelber, stickstoffhaltiger Körper in Flocken aus. Nach einigem Stehen lässt sich dieser Niederschlag auf einer sorgfältig hergerichteten Saugplatte ohne Verlust absaugen und waschen. Da

alle Krystallisationsversuche mit Alkohol, Benzol, Aceton, Eisessig, Amylalkohol, Aether und mit Gemischen der genannten Lösungsmittel fehlschlugen, wurde eine Reinigung nur in der Weise vorgenommen, dass der abgesaugte Körper wieder in siedender concentrirter Salpetersäure gelöst und mit Wasser gefällt, abgesaugt, gewaschen und im Vacuum getrocknet wurde.

Da zur Darstellung dieses Körpers auch etwas Jod enthaltende Fractionen des JH-Säure-Reductionsproductes verwendet werden mussten, so war vor Allem eine Jodbestimmung nothwendig.

0,1800 g des Körpers lieferten nach Carius 0,0036 g AgJ, was einem Jodgehalte von 0,0108 %, also einer vollkommen zu vernachlässigenden Grösse entspricht.

Da der getrocknete Körper sehr leicht und elektrisch ist, wurde er nicht gepulvert, sondern in Form grösserer Krümelchen der Analyse unterworfen, wobei man namentlich zu Beginn die Verbrennung besonders langsam und vorsichtig leiten musste, weil er sonst plötzlich explodirt, wie es sich mir zweimal ereignet hat.

1) 0,1996 g lieferten 0,0854 H_2O und 0,3560 CO_2 (1. Darstellung),
2) 0,1388 g lieferten 0,0669 H_2O und 0,2574 CO_2 (2. Darstellung),
3) 0,1405 g lieferten 0,0655 H_2O und 0,2608 CO_2 (2. Darstellung),
4) 0,1858 g lieferten nach Dumas 11,1 ccm N,
b = 747,5 mm, t = 17° C (1. Darstellung),
5) 0,2162 g lieferten nach Dumas 13,9 ccm N,
b = 738,1, t = 17° C (2. Darstellung).

Diese Bestimmungen ergeben folgende Werthe für die procentische Zusammensetzung:

	C %	H %	N %
1)	48,65	4,79	—
2)	50,59	5,39	—
3)	50,63	5,24	—
4)	—	—	6,86
5)	—	—	7,29

Wenn man bedenkt, dass durch Behandeln von Cholalsäure mit Oxydationsmitteln Biliansäure entsteht, so liegt die Vermuthung nahe, dass dieser Körper eine Nitrobiliansäure sein könnte. Im Folgenden ist die berechnete procentische Zusammensetzung für das Mono-, Di-, Tri- und Tetranitrosubstitutionsproduct der Biliansäure übersichtlich mitgetheilt.

	C %	H %	N %	O %
Mononitrobiliansäure $C_{24}H_{33}NO_{10}$ . . .	58,15	6,72	2,83	32,29
Dinitrobiliansäure $C_{24}H_{32}N_2O_{12}$	53,30	5,97	5,20	35,52
Trinitrobiliansäure $C_{24}H_{31}N_3O_{14}$	49,21	5,34	7,19	38,26
Tetranitrobiliansäure $C_{24}H_{30}N_4O_{16}$ . . .	45,69	4,80	8,91	40,60

Beim Vergleiche der gefundenen mit den berechneten Werthen zeigt es sich, dass die Analysenzahlen am besten zu den für eine Trinitrobiliansäure berechneten Werthen stimmen.

Die Biliansäure ist, wie Clève und Latschinoff gezeigt haben, dreibasisch, und wie Mylius weiter dargethan hat, enthält sie zwei Carbonylgruppen; sie ist also eine dreibasische Diketonsäure.

Desshalb wurde auf dem Wege über das neutrale Ammonsalz durch wechselseitige Umsetzung mit Silbernitrat das schwerlösliche Silbersalz des untersuchten Körpers dargestellt und analysirt.

1) 0,0645 g Silbersalz hinterliessen beim Veraschen 0,0235 g Silber.

2) 0,1653 g Silbersalz hinterliessen beim Veraschen 0,0587 g Silber.

3) Bei der Verbrennung im offenen Rohre lieferten 0,3122 g des Silbersalzes 0,0972 g H_2O und 0,3666 g CO_2, und es hinterblieben im Schiffchen 0,1089 g Silber.

	C%	H%	N%	O%	Ag%
Berechnet für $C_{24}H_{28}N_3O_{14}Ag_3$	31,78	3,11	4,64	24,71	35,73
Gefunden 1)	—	—	—	—	36,44
„ 2)	—	—	—	—	35,51
„ 3)	32,03	3,48	—	—	34,88

Die Analogie des untersuchten Körpers mit Biliansäure geht in Bezug auf seine Salze noch weiter. Sowie die Biliansäure ein in Alkohol unlösliches saures Kaliumsalz und ein alkohollösliches neutrales Kaliumsalz bildet, ebenso entsteht beim Zutropfen alkoholischer Kalilauge zu einer alkoholischen Lösung des in Rede stehenden Nitroproductes zuerst ein rostbrauner, flockiger Niederschlag, der sich im Ueberschuss grösstentheils wieder löst.

Wässerige Alkalien lösen den Körper leicht und mit dunkelrother Farbe auf. Aus den neutralen Ammoniumsalzlösungen lassen sich mit Lösungen von Barytsalzen und den Salzen der Schwermetalle die schwerlöslichen Neutralsalze unseres Körpers ausfällen.

Löst man den Körper in Eisessig und tropft man reines, frisch abdestillirtes Phenylhydrazin zu der goldgelben Lösung, so schlägt die Farbe sofort in Rothbraun um. Nach einigem Stehen, oder besser noch nach dem Erwärmen im Wasserbade, fällt auf Zusatz des mehrfachen Volumens von Wasser ein rothbrauner, flockiger Niederschlag aus, der behufs Reinigung abgesaugt, wieder in Eisessig gelöst und mit Wasser gefällt wurde.

Die getrocknete Substanz wurde mehrmals dargestellt und mehrmals analysirt; sie gab dabei schwankende und wenig befriedigende Werthe, was bei dem Umstande, als sie das dritte amorphe, ungereinigte Product ist, nicht Wunder nehmen kann. Das erhaltene rothbraune Pulver, das stets etwas nach Phenylhydrazin riecht, wurde mit einem Ueberschuss von Natronlauge in Lösung gebracht und im Wasserbade eine Zeit lang erhitzt. Danach liessen sich allerdings für den Geruch noch wahrnehmbare Spuren von Phenylhydrazin mit Aether ausschütteln, aber nach dem Neutralisiren der alkalischen Lösung mit Essigsäure fiel nicht der ursprüngliche, gelbe Nitrokörper, sondern wieder dessen Phenylhydrazinverbindung als brauner Niederschlag aus. Erwärmt man dagegen diese Phenylhydrazinverbindung mit Salpetersäure, dann fällt beim Verdünnen der bekannte gelbe Körper, die Nitrobiliansäure, aus.

Nach diesen Versuchen ist es erwiesen, dass die erhaltene Phenylhydrazinverbindung nicht etwa ein Säurehydrazid, sondern ein Hydrazon ist, dass also der ursprüngliche Körper, mit Rücksicht auf die Art, wie er erhalten wurde, auch Ketongruppen enthalten muss.

Daraufhin glaube ich Grund genug zu haben, um anzunehmen, dass durch Behandeln der der Cholalsäure entsprechenden einwerthigen Monocarbonsäure mit heisser concentrirter Salpetersäure ein Körper entsteht, der zum grössten Theil aus Trinitrobiliansäure besteht. Ueberdies zeigt er eben so wenig wie die Biliansäure selbst die Pettenkofer'sche Gallensäuren-Reaction. Er schmilzt zwischen 169 und 172° und zersetzt sich bei etwas höherer Temperatur unter Aufschäumen und Braunfärbung.

Nach Mylius kommt der Biliansäure nachstehende Formel zu:

$$C_{19}H_{31}\begin{array}{l}(COOH)_3\\ CO\\ CO\end{array}$$

Eine Trinitrobiliansäure hätte demnach die Formel:

$$C_{19}H_{28}(NO_2)_3 \begin{array}{l} (COOH)_3 \\ CO \\ CO \end{array}$$

Zu erwähnen wäre noch, dass man durch Behandeln der Trinitrobiliansäre in eisessigsaurer Lösung mit Zinkstaub und nachträgliches Verdünnen mit Wasser ein gelbbraunes Reductionsproduct, wahrscheinlich die entsprechende Amidosäure erhält. Sollte es sich ergeben, dass sich dieser Körper für einen Abbau des Kohlenstoffskelettes der Cholalsäure eignet, so wird darüber und über eine andere Reaction demnächst berichtet werden.

(Aus dem physiologischen Laboratorium der Universität Bonn.)

Beiträge zur Physiologie der Fettbildung, des Glykogenes und der Phosphorvergiftung.

(Unter Mitwirkung von Herrn J. Athanasiu.)

Von

E. Pflüger.

Inhalt:

§ 1. Bestimmung der Aufgabe.

Dr. Osvaldo Polimanti hat im physiologischen Laboratorium der landwirthschaftlichen Hochschule in Berlin auf Anregung und unter Leitung von Professor N. Zuntz die Frage über die Entstehung von Fett aus Eiweiss auf's Neue in Angriff genommen[1]).

Er untersuchte die durch Phosphorvergiftung bei Fröschen eintretende Veränderung des procentischen Fettgehaltes dieser Thiere. Als Ergebniss seiner Arbeit gelangt er zu dem Ausspruch:

„Es lassen dem Gesagten zu Folge meine Versuche kaum eine andere Deutung zu, als dass eine Neubildung von Fett aus Eiweiss unter der Einwirkung des Phosphors stattgefunden hat. Dies Ergebniss erscheint um so bedeutungsvoller, als keiner der bisher für

---

1) Osvaldo Polimanti, Dieses Archiv Bd. 70 S. 349.

eine Fettbildung aus Eiweiss vorgebrachten Gründe einer strengen Kritik hat Stand halten können [1])."

Nachdem ich in wiederholten Arbeiten die hier behandelte Streitfrage hinreichend aufgeklärt habe, wird es mir nicht verargt werden, wenn ich mich zu dieser Arbeit Polimanti's äussere, weil ich sie für verfehlt halte.

§ 2. Der in den Winterfröschen vorhandene Vorrath an Glykogen reicht zur Erklärung der von Polimanti behaupteten Fettbildung aus.

Ich mache zuerst die Voraussetzung, dass Osvaldo Polimanti eine Neubildung von Fett als Folge der Phosphorvergiftung bewiesen habe und prüfe seine Behauptung, dass das Fett nach der Phosphorvergiftung desshalb nur aus Eiweiss entstanden sein könne, weil die Glykogenmenge im Körper der Winterfrösche zu gering sei [2]). Polimanti stellt selbst keine Versuche über diesen wichtigen Punkt an, sondern beruft sich auf die Angaben von Schiff [3]) und Luchsinger [4]).

Ich hielt es desshalb für nothwendig, mich durch eigene Versuche zu belehren. In diesem Jahre waren in Bonn alle Batrachier am 11. März noch im Winterschlafe. In der Nähe Bonns wurde an diesem Tage ein kleiner Tümpel ausgeschöpft, wobei die im Schlamme schlummernden Frösche (Rana fusca) herausgeholt und sofort in mein Laboratorium gebracht wurden. Auf der Stelle suchte ich 10 männliche Frösche, die 391 g wogen, aus, tödtete sie mit Chloroform und warf sie nach Eröffnung der Bauchhöhle in eine Kochflasche von $2^1/_2$ Liter Volum, welche 1100 ccm einer heftig über freier Flamme siedenden Lauge von 1,7 % KOH enthielt. In ungefähr 15 Minuten waren alle Thiere bis auf die Knochen aufgelöst, an denen nur noch wenige Weichtheile hingen. Um das bereits gelöste Glykogen nicht länger der zersetzenden Wirkung der siedenden Lauge auszusetzen, wurde diese von den Knochen abgegossen und die letzteren mit 100 ccm neuer Lauge 2 Stunden im siedenden

1) Osvaldo Polimanti, a. a. O. S. 365.

2) Osvaldo Polimanti, a. a. O. S. 364.

3) Schiff, Untersuchungen über die Zuckerbildung in der Leber S. 30. Würzburg 1859.

4) Luchsinger, Experim. und krit. Beiträge zur Physiologie und Pathologie des Glykogenes.

Wasserbad erhitzt. Nachdem ich auch diese Lauge von den Knochen wieder abgegossen und dieselben mit Wasser abgespült hatte, zeigte es sich, dass alle Weichtheile in Lösung gebracht waren. Die Gesammtlösung verdünnte ich auf genau 2 Liter, während die Knochen in später anzugebender Art auf Glykogen untersucht wurden.

Analyse I.

100 ccm der alkalischen Froschlösung wurden mit Salzsäure neutralisirt und dann abwechselnd mit Kaliumquecksilberjodid und Salzsäure so lange versetzt, bis keine Spur einer Fällung mehr zu bemerken war. Sehr auffallend erschien es, wie ausgezeichnet schön die Eiweissstoffe sich abschieden, ohne dass milchige Trübung der Lösung eintrat. Nachdem die gefällten Eiweissstoffe abfiltrirt und die Flüssigkeit gut abgetropft war, wurden die Gerinnsel nicht nach Külz vom Filter genommen und mit Brücke's Reagens ausgewaschen, sondern durch ein Bischen Kalilauge von 17 % mit dem Filter im ursprünglichen Becherglase (Becherglas I) sofort wieder in Lösung gebracht, die ich mit etwas Wasser verdünnte und durch hinreichende Menge von Salzsäure ohne Kaliumquecksilberjodid ausfällte. Nun filtrirte ich durch ein zweites neues angefeuchtetes Filter in ein neues kleines Becherglas (Becherglas III) und fällte mit 2 Volumina Alkohol von 96 %. Die Trübung durch das ausgeschiedene Glykogen war noch ziemlich beträchtlich. — Hierauf nahm ich ein zweites Mal das Filter mit dem Niederschlag, warf es in das Becherglas I, löste wieder mit Kalilauge von 17 %, fällte mit Salzsäure, verdünnte mit Wasser, filtrirte abermals in ein neues Becherglas (Becherglas IV) und goss 2 Volumina Alkohol von 96 % hinzu. Es trat nur eine schwache Trübung ein. Daraus folgt, dass es genügt, zweimal den durch das Brücke'sche Reagens erhaltenen Niederschlag zu lösen und wieder zu fällen, um alles überhaupt gewinnbare Glykogen zu erhalten.

Dieses Verfahren ist einfacher als die von Külz gegebene Vorschrift und liefert, wie wir durch vergleichende Versuche gefunden haben, mehr Glykogen. Natürlich goss ich schliesslich alle Filtrate zusammen, nachdem ich die Hauptmasse des ersten Filtrates im Becherglas II schon mit 2 Vol. Alkohol von 96 % vorher gefällt hatte.

Was mir nun gleich bei diesem Versuche auffiel, war die grosse Menge von Glykogenflocken, die sich bald locker absetzten, ohne

am Glase zu haften. Am besten wartet man mit der Filtration 24 bis 48 Stunden.

Die Gewinnung des Glykogenes geschah nun genau nach den von Brücke und Külz gegebenen Vorschriften, so dass das Glykogen auf dem Filter 3 mal mit Alkohol von 62 %, 3 mal mit Alkohol von 99,8 %, 3 mal mit absolutem Aether, 3 mal mit Alkohol von 99,8 % gewaschen und dann bei 100° C. getrocknet wurde. Die Trocknung geschah, was ich für wesentlich zu bemerken halte, in einem von siedendem Wasser umgebenen Schrank, in dem die Temperatur aber eigentlich 98° C. nicht übersteigt. Die Substanz wurde als hinreichend getrocknet angesehen, wenn in 24 Stunden keine weitere Abnahme des Gewichtes eintrat, was natürlich nicht beweist, dass das Glykogen im strengsten Sinn des Wortes trocken war. Hier darf diese Methode aber angewandt werden.

Gefunden wurden 0,192 g Glykogen, die in 100 ccm Froschlösung enthalten waren. Da wir 2000 ccm Lösung hatten, so betrug das gesammte in den 10 Fröschen enthaltene Glykogen — abgesehen von dem in den Knochen befindlichen —

3,84 g.

Die 10 Frösche wogen 391 g. Es ergibt sich also, dass 100 g lebendiger Frösche enthielten

0,982 g Glykogen.

Da dieser unerwartet hohe Werth den Verdacht erwecken musste, dass eine starke Verunreinigung des Glykogenes vorliege, habe ich nicht bloss den Gehalt an Mineralsubstanzen durch die Aschenanalyse, die Gegenwart von Eiweiss durch die Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl ermittelt, sondern — was schliesslich allein durchaus entscheidend ist — durch Inversion des Glykogenes in Zucker und Bestimmung desselben nach meiner Methode, den Gehalt an Kohlenhydrat über allen Zweifel sicher gestellt.

Das Glykogen der Analyse I lieferte nach Abzug der Filterasche den geringen Werth von 0,68 % Asche.

Analyse II.

910,4 ccm derselben Froschlösung wurden genau, so wie das bei Analyse I beschrieben ist, behandelt und lieferten 1,771 g Glykogen. Dies macht, weil 2000 ccm Lösung von 391 g Frosch vorhanden waren, für 100 g Frosch = 0,995 g Glykogen.

Analyse III.

Diese Analyse ist unter meiner Aufsicht von Herrn J. Athanasiu mit derselben Froschlösung ausgeführt, welche zu Analyse I und II gedient hat. Er fand in 983 ccm Lösung 1,9213 g Glykogen; da 2000 ccm Lösung 391 g Frosch enthielten, so kommt auf 100 g lebendigen Frosch — abgesehen von dem in den Knochen enthaltenen Glykogen — 0,999 g Glykogen.

Die Zusammenstellung der 3 Analysen ergibt:

I. 100 g Frosch	= 0,983
II. 100 „ „	= 0,995
III. 100 „ „	= 0,999
Mittel	= 0,992
Ab Asche	= 0,0066
Aschefreies Glykogen	= 0,9854 g.

Um nun über jeden Zweifel sicher zu stellen, dass der hohe Betrag des Glykogens nicht durch irgend eine Verunreinigung bedingt sei, beschloss ich, dasselbe Glykogen in Zucker überzuführen und die Menge des Zuckers nach meiner Kupferoxydulmethode zu bestimmen.

Analyse IV.

Das zu meiner Analyse II benutzte Glykogen wurde vom Filter geschüttelt, im Mörser pulverisirt, im Wägegläschen auf constantes Gewicht gebracht. Zur Verfügung stand 1,663 g Glykogen. Bei quantitativen Analysen des Glykogens hat man mit dem Stäuben zu rechnen, das sehr schwer zu vermeiden ist und grobe Fehler veranlassen kann. Wenn es sich also wie hier um grosse Genauigkeit handelt, verfährt man so, dass man das Wägegläschen mit äusserster Vorsicht etwa halb mit der Salzsäure füllt, welche zur Invertirung benutzt werden soll. Meine Säure enthielt 2,17 g Chlorwasserstoff in 100 ccm. — Lässt man die Säure nicht sehr langsam an der Wand des schräg gehaltenen Wägegläschens hinabrinnen, so kann man doch Verlust durch Stäuben haben. An einem warmen Orte (50° C.) lasse ich nun so lange das Wägegläschen stehen, bis das Glykogen sich gelöst hat, das heisst einen dicken Syrup auf dem Grunde des Gläschens bildet. Mit etwa 250 ccm derselben Salzsäure spülte ich nun die Glykogenlösung vollständig in eine Kochflasche von ca. 1 Liter Inhalt, bedeckte die offene Mündung mit einem Uhrglas und tauchte

die Kochflasche in ein heftig siedendes Wasserbad, in dem sie 3½ Stunden verblieb. Nachdem die Flüssigkeit sich abgekühlt hatte, steckte ich einen Trichter auf eine meiner Mischflaschen, deren Inhalt gerade 700 ccm betrug. Diese Flasche war vorher sorgfältig getrocknet. Das Abflussrohr des Trichters soll genau bis zur Marke reichen, also die obere Erweiterung (den Kropf) der Mischflasche durchsetzen, damit diese nicht durch die einzugiessende Flüssigkeit bespritzt werden kann, was einen Fehler in der Volumbestimmung, d. h. dem Titer, zur Folge haben müsste. Nun spülte ich die Zuckerlösung aus der Kochflasche mit derselben Salzsäure von 2,17 % in die Maassflasche, füllte bis zur Marke auf und bemerkte die Temperatur, welche die Lösung jetzt hatte. Darauf entfernte ich den Trichter, setzte den Stopfen auf die Flasche und mischte tüchtig. Ich hatte also 700 ccm Flüssigkeit von 2,17 % Chlorwasserstoff und im Ganzen enthaltend den Zucker, der aus 1,663 g Glykogen entstanden war. Eine Probe der Lösung gab, mit 2½ Volum 96 %igen Alkohols versetzt, keine Trübung, enthielt also kein Glykogen mehr. Je 49,8 ccm Lösung entsprechend 117,5 mg Glykogen (aschenfrei berechnet) wurden nun genau so, wie ich es in meiner Abhandlung über die quantitative Analyse des Traubenzuckers angegeben habe, behandelt[1]).

Gefunden in Analyse	A. = 284,5	mg Kupferoxydul	= 120,5	Zucker
„ „ „	B. = 282,0	„ „	= 119,3	„
		Mittel	= 119,9	Zucker.

Also 117,5 mg aschefreies Glykogen lieferten 119,9 mg Zucker.

Zur Sicherstellung der beiden Zuckeranalysen ist noch die Vergleichung der Asbestfilterröhrchen vor und nach dem Versuche nöthig. Selbstverständlich wird das Röhrchen nach dem Versuche mit Salpetersäure, Wasser, Alkohol und Aether gereinigt und getrocknet.

	Rohr 3 Analyse A.		Rohr 4 Analyse B.
Vor Versuch	31,1305 g	. .	31,3847 g
Nach Versuch	31,1305 „	. .	31,3851 „

Setzt man zunächst dieselbe Beziehung zwischen Traubenzucker und Glykogen wie zwischen Traubenzucker und Stärke voraus, so

1) E. Pflüger, Dieses Archiv Bd. 69 S. 437. 1898.

würden die gefundenen 119,9 mg Zucker entsprechen 108,0 mg Glykogen.

Da aber 117,5 mg Glykogen angewandt wurden, so sind noch 9,5 mg unbekannte Substanz zu erklären.

Die Kenntniss des Stickstoffgehaltes dieses Glykogens ist desshalb von Wichtigkeit. Sie musste in folgender Weise wegen Mangels an ausreichendem Material ausgeführt werden.

Analyse V.

300 ccm der in Analyse IV hergestellten Zuckerlösung, entsprechend 0,708 g Glykogen, wurden mit 5 ccm concentrirter Schwefelsäure auf dem Wasserbad abgedampft zu kleinem Volum, welches in das Oxydationskölbchen gefüllt und nach Zusatz von 30 ccm concentrirter Schwefelsäure und 0,1 ccm Quecksilber bis zur Farblosigkeit erhitzt und dann weiter auf Ammoniak untersucht wurde. Das Glykogen enthielt 0,00294 g Stickstoff oder

0,4 % Stickstoff.

Die angewandten Reagentien waren genau auf Abwesenheit von Stickstoff untersucht worden.

Folglich enthielten 117,5 g Glykogen, die in Analyse IV auf ihren Kohlehydratgehalt untersucht wurden,

0,47 mg N

oder falls dieser Eiweiss angehört:

2,9 mg Eiweiss.

Es bleiben also für die 9,5 mg unbekannte Substanz noch 6 mg übrig, über deren Natur vor der Hand keine Rechenschaft gegeben werden kann. Doch ist dies für diese Abhandlung, d. h. für das, was hier bewiesen werden soll, ohne Belang.

Zur Vervollständigung unserer Kenntniss über den Glykogengehalt der untersuchten Ranae fuscae gehört noch die Analyse der Knochen.

Analyse VI.

Die durch Kochen mit 1,7 % Kalilauge ganz von den Weichtheilen befreiten Knochen wurden nach der Methode von E. Salkowsky und A. E. Austin[1]) der Pepsinverdauung unterworfen.

1) A. E. Austin, Ueber die quantitative Bestimmung des Glykogenes in der Leber. Virchow's Archiv Bd. 150 S. 185.

In Anwendung kam 1 Liter 0,5 % Salzsäure nebst 2 g Pepsinum Finzelberg, aus dem ich, wie Austin, vorher den zugefügten Milchzucker weggewaschen hatte. Als nach 2 Tagen noch immer Knochenstücke ungelöst waren, fügte ich ferner 10 ccm rauchende Salzsäure hinzu und erreichte nach weiteren 24 Stunden fortgesetzter Verdauung eine vollständige Lösung. Es wurde mit Soda neutralisirt, d. h. ein wenig alkalisirt, auf 200 ccm abgedampft, mit Salzsäure und Kaliumquecksilberjodid gefällt, aber nur eine geringe Trübung erzielt, filtrirt und mit 2 Volumina Alkohol von 96 % versetzt. Es entstand nur eine sehr mässige Trübung. Schliesslich erhielt ich:

0,0296 Rohglykogen.

Bei dem grossen Reichthum an Knochensalzen, der in der Flüssigkeit vorauszusetzen war, wurde die Asche des Glykogenes noch bestimmt und gefunden 0,0025 mg Asche, was 8,4 % entspricht.

Für 10 Frösche hatte sich also ergeben 0,027 g Glykogen in den Knochen, was für einen Frosch 0,0027 g, d. h. eine verschwindende Grösse ausmacht, oder für 100 g lebendigen Frosch 0,007 g. Demnach beträgt der ganze Glykogengehalt von 100 g Frosch 0,9854 + 0,007 = 0,992 g.

Der ausserordentlich hohe Glykogengehalt der untersuchten Frösche, die ungefähr ½ Jahr lang keine Nahrung mehr zu sich genommen hatten, findet natürlich theilweise seine Erklärung in dem Winterschlafe, der ein starkes Sinken des Stoffwechsels bedingt. Da derselbe aber doch nicht zum Stillstande kommt, müssen wir annehmen, dass der Glykogenbestand der Thiere im Herbste vor dem Winterschlafe ein beträchtlich höherer sein wird.

Gerade desshalb war es nothwendig zu untersuchen, ob der Gehalt der Frösche an Glykogen ein geringerer ist, wenn sie, im Aquarium der Institute aufbewahrt, den regelrechten Winterschlaf durchzumachen verhindert werden. — Leider standen geeignete Ranae fuscae nicht zur Verfügung, wohl aber Ranae esculentae.

Analyse VII.

199 gm weibliche Ranae esculentae, die keinen Winterschlaf durchgemacht hatten, und denen ich, nachdem sie mit Chloroform getödtet waren, die Eierstöcke ausschnitt, wurden genau so wie bei dem Versuche am 11. März in 600 ccm Kalilauge von 1,7 % gelöst.

Bei der Fällung der Eiweisskörper mit dem Brücke'schen Reagens stellte sich milchige Trübung ein, was aber die gute Filtration nicht behinderte.

Ich verarbeitete von 800 ccm hergestellter alkalischer Froschlösung 100 ccm auf Glykogen und fand 0,1445 g.

Da 100 ccm der Froschlösung 24,9 g lebendiger Substanz entsprachen, so folgt:

100 g Frosch =	0,5800 g Glykogen,
ab für Asche	0,0008 g
	0,5792 g Glykogen.

Das Glykogen enthielt nur 0,14 % Asche.

Herr Athanasiu hatte den Glykogengehalt der Eierstöcke dieser Thiere bestimmt:

35 g Eierstöcke lieferten 0,363 g Glykogen,

enthielten also 1,038 % oder fast doppelt so viel als die anderen Organe im Mittel.

Die Frösche (Ranae esculentae), mit Einschluss der Eierstöcke 234 g wiegend, enthielten also im Ganzen, abgesehen vom Skelett:

1,517 g Glykogen

oder: 100 g Frosch = 0,65 g Glykogen aschefrei.

Analyse VIII.

Es war von Bedeutung, noch das Verhalten der männlichen Ranae esculentae zu untersuchen, die ebenfalls keinen normalen Winterschlaf gehabt, sondern im Aquarium des Institutes gehalten worden waren.

Zwei Männchen = 72,9 g, am 17. März behandelt wie die übrigen, lieferten 0,4597 g Glykogen. Dies macht für 100 g männlicher Rana esculenta = 0,63 g Glykogen oder aschefrei 0,629.

Hiernach scheint es, dass das Geschlecht keinen Einfluss auf den Glykogengehalt des Körpers ausübt.

Ich habe bei diesem Glykogen, um den Verdacht gröberer Verunreinigung auszuschliessen, sowohl den Gehalt an Stickstoff wie an Mineralbestandtheilen untersucht.

Das Glykogen enthielt 0,26 % Stickstoff und 0,14 % Asche.

Benutzen wir nun die gewonnenen Werthe, um die Rechnung zu beurtheilen, durch welche Dr. Osvaldo Polimanti beweisen will, dass das nach ihm im Körper der Frösche entstandene Fett

nicht aus Glykogen entstanden sein könne. Er behauptet[1]), dass auf 100 g Trockensubstanz des Frosches unter der Einwirkung des Phosphors im Ganzen

1,115 g Fett (Mittelwerth)

entstanden ist, und berechnet, dass zu deren Erzeugung 2,676 g Glykogen nothwendig sein würden.

Wenn man die von A. E. Austin[2]) unter E. Salkowsky's Leitung neuerdings befürwortete Formel des Glykogenes ($C_6H_{10}O_5$) als richtig ansieht, und den mittleren Kohlenstoffgehalt des Fettes zu 76,5 % ansetzt, so haben 1,921 g Glykogen denselben Kohlenstoffgehalt mit 1,115 g Fett. Da man über die chemische Mechanik der Ueberführung von Glykogen in Fett unter dem Einfluss des Phosphors gar nichts weiss, hat man kein Recht, anders zu rechnen als unter der Voraussetzung, dass das Glykogen ebensoviel Kohlenstoff enthalten müsse als das Fett, welches daraus hervorgeht. Es handelt sich doch bei der Phosphorvergiftung um Umsetzungen, die vielleicht unter normalen Verhältnissen gar nicht vorkommen. Statt der in Minimo nöthigen Glykogenmenge von 1,921 g berechnet aber Dr. Osvaldo Polimanti 2,676 g.

Wieviel Glykogen steht nun zur Verfügung?

Die Frösche, welche den regelrechten Winterschlaf durchgemacht hatten, ergaben auf 100 g Thier = 0,912 g $C_6H_{10}O_5$. Legen wir die Bestimmung der Trockensubstanz der Frösche zu Grunde, welche Dr. Osvaldo Polimanti[3]) mitgetheilt hat und in seinen Rechnungen verwerthet, so beträgt sie im Mittel (excl. der wasserreicheren Leber): 21,409 %.

Daraus berechnet sich, dass 100 Theile Trockensubstanz bei unseren Fröschen 4,259 g Glykogen enthalten, während nur 1,921 g nach unserer und 2,676 g nach der Rechnung von Polimanti nöthig sind.

Nehmen wir zur Berechnung die kleinsten von uns beobachteten Glykogenwerthe, welche sich am Ende des Winters bei Thieren fanden, die einen eigentlichen Winterschlaf nicht durchgemacht hatten, so fanden wir

für 100 g weiblicher Ranae esculentae = 0,65 g Glykogen,
für 100 g männlicher Ranae esculentae = 0,629 g Glykogen.

1) Dr. Osvaldo Polimanti, Dieses Archiv Bd. 70 S. 364.
2) A. E. Austin, Virchow's Archiv Bd. 150 S. 195.
3) Dr. Osvaldo Polimanti, a. a. O. S. 358.

Also im Mittel:

100 g Frosch = 0,64 g Glykogen.

Hier fehlt das Glykogen der Knochen, welches nach oben mitgetheilter Analyse 0,7 % des im übrigen Körper gefundenen ausmacht, so dass sich ergibt:

100 g Frosch = 0,645 g Glykogen.

Da 100 g Frosch nach Dr. Osvaldo Polimanti 21,409 g feste Substanz enthalten, so sind:

100 g feste Froschsubstanz = 3,013 g Glykogen = 2,769 $C_6H_{10}O_5$.

Nun ist zur Erzeugung von dem nach Osvaldo Polimanti neugebildeten Fett von 1,115 g nöthig 2,676 g Glykogen, und es stehen 2,769 g zur Verfügung. Ich habe aber — was zum Ueberfluss noch wiederholt sei — schon gezeigt, dass Osvaldo Polimanti einen zu hohen Werth für das Glykogen angegeben hat, zu dem er nicht berechtigt war. Und dann käme immerhin noch in Betracht, dass die Brücke-Külz'sche Methode den Glykogenwerth viel zu klein ergibt. Ich habe bereits vor längerer Zeit (15. April 1897)[1] gemeinschaftlich mit Dr. Joseph Weidenbaum den Beweis erbracht, dass der Fehlbetrag bis zu 20 % und mehr beträgt. Die hier beurtheilte Untersuchung von Dr. Osvaldo Polimanti bestimmt mich, demnächst die ausführliche Mittheilung der bezüglichen Analysen von Dr. Joseph Weidenbaum, sowie meine eigenen zu veröffentlichen. —

Schliesslich aber müsste doch, falls sich herausgestellt hätte, dass die in den Fröschen nachweisbare Glykogenmenge zur Erklärung des neugebildeten Fettes nicht ausreichte, daran gedacht werden, dass der thierische Organismus Glykoside enthält, durch deren Spaltung ein weiterer Vorrath von Kohlehydraten zur Verfügung steht. Und dieser Vorrath ist nach den neueren Erfahrungen noch viel grösser, als man früher geahnt hat.

Verschwiegen werden darf endlich nicht, dass Dr. Osvaldo Polimanti[2]) sich noch auf einen besonderen Versuch (es ist seine Nr. III) beruft, in dem auf 100 g Trockensubstanz des Frosches 2,572 g Fett neu gebildet sein sollen, sodass nach seiner Rechnung 6,173 g Glykogen erforderlich wären, um dieses Fett zu erzeugen.

1) E. Pflüger, Eine neue Methode zur quantitativen Bestimmung des Zuckers u. s. w. — Dieses Archiv Bd. 66 S. 636.

2) Osvaldo Polimanti, Dieses Archiv a. a. O. S. 364.

Wenn Osvaldo Polimanti unter seinen Versuchen gerade denjenigen heraussucht, der sich vom Mittelwerth am meisten entfernt, so bin ich berechtigt, das Gleiche zu thun. Der höchste von uns am Ende des Winters in den Fröschen gefundene Mittelwerth (es handelt sich um 10 Frösche) lehrte:

100 g Trockensubstanz des Frosches

enthalten

4,259 g Glykogen.

Unter diesen 10 Fröschen waren aber sicher solche Individuen, die noch mehr, andere, die weniger enthielten, ohne dass sich über die Grösse der Abweichung vom Mittel etwas Sicheres angeben lässt.

Nach meiner Rechnung enthalten 4,4312 g Glykogen ebenso viel Kohlenstoff als in den angeblich neugebildeten 2,572 g Fett enthalten sind. Wir verfügen also sogar im Mittel über nahezu genug Glykogen im Thier, nämlich über 4,259 g. Demnach ist die Beweisführung von Dr. Osvaldo Polimanti dadurch widerlegt, dass ich den in den Winterfröschen nachgewiesenen Glykogenreichthum als ausreichend zur Erklärung des angeblich neu gebildeten Fettes sicher gestellt habe.

§ 3. Die falschen Voraussetzungen der Rechnungen Polimanti's sind die erste Ursache, welche für eine Fettbildung einen Scheinbeweis liefert.

Es soll nunmehr meine Aufgabe sein, zu zeigen, dass Osvaldo Polimanti eine Neubildung von Fett überhaupt nicht bewiesen hat.

Der Phosphor wirkt nach allen Erfahrungen auf die organisirte Zellsubstanz des lebendigen Körpers und veranlasst in Folge der hierdurch bedingten Erregung des Protoplasmas eine Oxydation desselben in so hohem Maasse, dass der Stoffwechsel vorzugsweise durch die Zersetzung von Eiweiss gedeckt wird.

Wenn in einem vergifteten Thiere das Eiweiss fortwährend schwindet, während das Fett unverändert bleibt oder weniger angegriffen wird, so muss der Procentgehalt an Fett, welcher in der Trockensubstanz des Thieres enthalten ist, wachsen. Dieses Anwachsen der procentischen Fettmenge ist innerhalb gewisser Grenzen offenbar noch möglich, wenn der absolute Fettgehalt des ganzen Thieres abnimmt. Untersucht man, wie Dr. Osvaldo

Polimanti, bei dem vergifteten Thiere nur den Procentgehalt der Trockensubstanz an Fett und findet man eine Vermehrung desselben, so folgt daraus nicht, dass eine absolute Vermehrung stattgefunden hat. Das kann man erst behaupten, wenn man weiss, dass das absolute Gewicht der Trockensubstanz in dem Thiere nach der Vergiftung sich gar nicht oder nicht ausreichend geändert hat. Diese Thatsachen sind nur zu ermitteln, wenn man das absolute Gewicht der Trockensubstanz vor der Vergiftung eines Thieres vergleicht mit dem absoluten Gewicht, welches die Trockensubstanz in Folge der Vergiftung darbot. Das absolute Gewicht der Trockensubstanz des Thieres vor der Vergiftung ist aber nach Ermittelung der procentischen Menge der Trockensubstanz erst gegeben, wenn auch das absolute Gewicht festgestellt ist, das dem Thiere vor der Vergiftung zukam. Dr. Osvaldo Polimanti hat aber das Lebendgewicht des Thieres vor der Vergiftung nicht bestimmt, sondern sich mit dem begnügt, welches das Thier nach der Vergiftung erreicht hatte, unmittelbar bevor es getödtet wurde.

Dass Polimanti, dessen Darstellung an einer gewissen Unklarheit leidet, den Gehalt an Trockensubstanz wirklich nicht auf das Lebendgewicht bezieht, welches dem Thiere vor der Vergiftung zukam, geht aus einer Erklärung hervor, die sich a. a. O. auf Seite 361 findet. Bei den vergifteten Thieren, so sagt er, wiege die feuchte Leber 8,2 % des übrigen Körpers. Nun hatte er bei den **vergifteten** Thieren 21,42 g frische Leber ausgeschnitten, woraus folgt, dass er das Gewicht des übrigen Körpers des **vergifteten** Thieres zu 261,66 g ansetzt. Genau diese Zahl steht nun in der Haupttabelle I (a. a. O. S. 358) in dem Stab, wo die Lebendgewichte der Thiere angegeben sind, auf welche der Trockengehalt absolut und relativ bezogen wird.

Weil also der **nothwendige** Werth für die Vergleichung von vergiftetem und normalem Thier, nämlich das Gewicht des Thieres **vor** der Vergiftung **fehlt**, beweisen die Versuche Nichts für eine Fettbildung überhaupt. Es lässt sich desshalb aber auch nicht ermitteln, wie viel Fett als neugebildet vorgetäuscht ist.

Jedenfalls gibt es aber noch einen anderen Irrthum in der Arbeit Polimanti's, der ebenfalls bedingt, dass eine gewisse Fettmenge als neugebildet berechnet wird, obwohl keine Spur von Fett entstand. Damit will ich mich jetzt beschäftigen.

§ 4. Die falsche Anordnung der Versuche Polimanti's ist die zweite Ursache, welche für eine Fettbildung einen Scheinbeweis liefert.

Osvaldo Polimanti hat unter den Fröschen die **grossen** Individuen herausgesucht, um sie zu vergiften; die **kleineren** benutzte er als Controlthiere. Nun sind aber die **grösseren** Frösche im Allgemeinen die **älteren** Thiere, deren Körper durchschnittlich **fettreicher** ist. Dadurch hat Polimanti dafür gesorgt, dass der Frosch, der mit Phosphor vergiftet werden sollte, schon vor der Vergiftung mehr Fett enthielt als das Controlthier. Schliesslich ist Polimanti selbst auf diesen Fehler aufmerksam geworden, meint aber, dass er nicht von Belang sei.

Um dem Leser einen Begriff von der Tragweite des begangenen Fehlers zu geben, stelle ich aus seiner Tabelle I folgende abgeleitete Uebersicht zusammen, wobei also nur **normale**, nicht vergiftete Thiere mit Rücksicht auf ihre **Grösse** mit einander verglichen werden.

Nummer der Versuche von Polimanti	Anzahl der Frösche	Feuchtes Gewicht der Frösche mit Leber in Gramm	Feuchtes Gewicht des einzelnen Frosches in Gramm	Gesammtaetherextract in % der Trockensubstanz	Mittleres Gewicht der kleinen Frösche in Versuchen V, VI, IV und der grossen in Versuch I, II, III	Mittlerer Aetherextract in % der Trockensubstanz
V	4	188	47	4,057	47,8 g	4,235
VI	4	192	48	4,115		
IV	4	194	48,5	4,533		
I	3	177	59	4,149	59,8 g	5,498
II	5	286	57	6,638		
III	3	195	65	4,947		

Die Tabelle lehrt, dass die Zunahme des Lebendgewichts des Frosches von 47,8 auf 59,8 g, d. h. um 12 g eine Zunahme im procentigen Fettgehalt der Trockensubstanz des Thieres von 4,235 auf 5,498 zur Folge hat, d. h. um 1,263 %.

Dr. Osvaldo Polimanti hat 24 Frösche zur Phosphorvergiftung verwandt; sie wogen zusammen 1698,5 g. Also 1 Phosphorfrosch wog im Mittel 70,8 g.

Zur Controle wurden 23 Frösche benutzt, die 1232,5 g wogen, sodass 1 Normal-Controlfrosch wog im Mittel

53,6 g.

Der Unterschied beträgt 17,2 g.

Da nun innerhalb dieser Grenzen ein Zuwachs des Lebendgewichts des Thieres von 12 g einen Zuwachs im procentigen Fettgehalt der Trockensubstanz von 1,263 % bedingt, so ist zu erwarten, dass ein Zuwachs von 17,2 g einem procentigen Fettzuwachs von annähernd 1,810 entspricht. Gefunden hat Osvaldo Polimanti einen Zuwachs von

1,115,

d. h. sogar eine etwas wenig kleinere Zahl.

Diese Rechnungen haben den Beweis geliefert, dass der Unterschied in dem Gewicht der normalen und vergifteten Frösche gross genug war, um auch ohne Phosphorvergiftung den beobachteten Unterschied des procentischen Fettgehaltes der Trockensubstanz zu erklären.

§ 5. Die Fettanalysen Polimanti's sind zwar nach der Bonner Methode, aber fehlerhaft ausgeführt und desshalb ungenau.

Obwohl die bis dahin angegebenen Gründe die Schlussfolgerungen von Dr. Osvaldo Polimanti widerlegen, muss ich der Vollständigkeit halber schliesslich darauf hinweisen, dass dieser Forscher die Fettbestimmungen zwar angeblich nach der Bonner Methode, aber unrichtig ausgeführt hat.

Er schüttelte die verdauten Organe mit Aether, ohne das Unverdaute von der Flüssigkeit zu trennen und jeden Theil nach Vorschrift gesondert zu analysiren.

Den Fettanalysen fehlt also der nothwendige Grad der Genauigkeit.

Aus der IV. medicinischen Abtheilung des k. k. Rudolfspitales in Wien.
(Primarius Dr. R. v. Limbeck.)

Versuche über Quellung.

Zweite Mittheilung.

Von

Dr. **W. Pascheles**, Assistenten der Abtheilung.

(Mit 3 Textfiguren.)

1) In der letzen Mittheilung über diesen Gegenstand [1]) waren unter Anderem Versuche angeführt worden, welche die Abhängigkeit der Wasserbindung in colloiden Stoffen von dem jeweiligen Quellungsgrade — der von der Gewichtseinheit quellbarer Substanz aufgenommenen Wassermenge — quantitativ darstellten. Zu diesem Behufe wurde die Verdampfungsgeschwindigkeit aus gequollenen Stoffen systematisch gemessen, wobei sich ergab, dass dieselbe bei niederen Quellungsgraden rascher abnahm als bei höheren, um schliesslich für die gegebene Temperatur Null zu werden, also zu einer Constanz des Quellungsgrades zu führen.

Es ist durch zahlreiche Untersuchungen sichergestellt, dass das als Quellungsflüssigkeit aufgenommene Wasser eine Aenderung seiner Eigenschaften erfährt, darunter eine insbesondere vom biologischen Standpunkte sehr wichtige Fähigkeit gewinnt, gegen dargebotene Lösungen (z. B. Salze, Farbstoffe) eine „Selection" zu zeigen (Hofmeister [2]), Spiro [3])). Für eine tiefere Einsicht in den Quellungszustand war also vornehmlich ein fortgesetztes Studium der Wasserbindung in gequollenen Substanzen anzustreben. Dieses wurde von den am Schlusse der letzten Mittheilung angedeuteten Gesichtspunkten aus versucht.

Gehen wir zunächst von der Thatsache aus, dass die Wasserbindung in colloiden Stoffen mit zunehmender Concentration fester wird, und dass andererseits mit zunehmender Concentration, z. B. der Gelatine, deren Schmelz- und Erstarrtemperatur erhöht wird, so

gelangen wir zu der Möglichkeit, auf dem Wege von Schmelzpunktsbestimmungen Anhaltspunkte für die Wasserbindung zu gewinnen.

Denken wir uns das Quellungswasser einer Gelatine durch eine Salzlösung ersetzt, so scheint es von vornherein annehmbar, dass die anwesenden Salztheilchen die Beziehungen des Wassers zu der Gelatine alteriren dürften, eine Aenderung, die sich voraussichtlich auch in den Beziehungen von Aggregatzustand zu Temperatur geltend machen wird.

Durch die grundlegenden Untersuchungen von Hofmeister[2]) über die Wirkung der Salze wissen wir, dass dieselben in zwei Gruppen zusammengefasst werden können, von denen die eine im Allgemeinen colloide Stoffe fällt und die Quellungsgeschwindigkeit herabsetzt, die andere diese Eigenschaften nicht aufweist oder sich bezüglich der Quellungsgeschwindigkeit sogar entgegengesetzt verhält.

Versuche über die Schmelz- und Erstarrtemperatur von „Salzgelatinen" scheinen also auch geeignet, Beziehungen zwischen Gelatinieren und Gerinnung aufzudecken und unsere Kenntnisse über die Wechselwirkung krystalloider und colloider Stoffe zu erweitern. Es braucht nicht erst hervorgehoben zu werden, dass ein jeder Fortschritt in unserer Kenntniss des Quellungszustandes, des Aggregatzustandes aller organisirten Materie, auch einen solchen für unser Verständniss physiologischer und pathologischer Vorgänge erhoffen lässt.

2) In den meisten Versuchen kam eine 10%ige Gelatine zur Verwendung, welche durch Eintragen von 10 g trockener, möglichst salzfreier Leimsubstanz in 100 ccm der betreffenden Lösung unter vorsichtigem Erwärmen auf dem Wasserbade erhalten wurde. Gelatine theilt mit sehr vielen amorphen Stoffen die Eigenschaft, dass die Zustandsänderung einen ganz allmäligen Uebergang von der festen zu der flüssigen Beschaffenheit aufweist. Sämmtlichen Methoden der Bestimmung der Temperatur, bei welcher die Zustandsänderung erfolgt, muss also nothwendiger Weise gemeinsam sein, dass die Erkennung des Umschlages an ein willkürlich gewähltes Merkmal geknüpft ist. Und auch für dieses Merkmal müssen die ermittelten Werthe grössere Abweichungen zeigen, als unter geeigneten Umständen bei Schmelzpunktsbestimmungen krystalloider Stoffe merkbar werden.

Bezüglich der Besprechung der einzelnen für die Bestimmung der Schmelztemperatur von Gelatine verwendbaren Methoden kann

ich auf eine während meiner Versuche veröffentlichte Arbeit von Ch. van der Helde[4]) verweisen. Dieser Autor entschliesst sich für eine Modification des Principes Wiley's, welcher die betreffende Substanz in Form eines Scheibchens in eine Flüssigkeitsmischung bringt, die erwärmt wird, bis das schmelzende, frei schwebende Scheibchen in Folge der auftretenden Oberflächenspannung zum kugeligen Tropfen wird. Für Gelatine verwendet v. d. Helde eine Petroleumchloroformmischung. Die Methode ist unzweifelhaft eine gute, gibt jedoch mit Rücksicht auf die obigen allgemeinen Bedenken gleichfalls nicht „absolute" Resultate. Oberflächenspannungserscheinungen treten nämlich bei der Aggregatszustandsänderung von Gelatine gleich den anderen Zeichen der Fluidität allmälig und nicht sprunghaft auf, und zwar um so früher, je langsamer die Erwärmung erfolgt. Man kann mit demselben Rechte, wie das Auftreten von Oberflächenspannungserscheinungen auch den Mangel einer Verschiebungselasticität als Kriterium der Flüssigkeit betrachten, und wird auch hier wiederum, abhängig von der Deformationsgeschwindigkeit, zu verschiedenen Resultaten gelangen. Das Verlangen van der Helde's nach absoluten Resultaten der Schmelzpunktsmethode bleibt unerfüllbar, anders ist dies mit der Gewinnung vergleichbarer Resultate nach einer bestimmten Methode. Für unseren Fall der Untersuchung von Salzgelatinen wurde die Bestimmung des Schmelz- und Erstarrpunktes in einem Gefässe eingeschlossener, stets gleicher Gelatinemengen der Verwendung frei in einer Flüssigkeit suspendirter Leimscheibchen aus verständlichen Gründen vorgezogen und in einer nach Art des bekannten Beckmann'schen Apparates zusammengestellten Vorrichtung ausgeführt.

Eine grössere Eprouvette, die mit einem guten, in Zehntel-Celsiusgrade getheilten Thermometer und einem Rührer adjustirt war, tauchte in ein Literbecherglas, welches das entsprechend temperirte Wasser sammt Rührer und Thermometer enthielt. In die Eprouvette wurde die vorher bereitete Gelatine (stets 15 ccm) eingebracht und nun die Temperatur, bei welcher das Thermometer eben festgehalten wurde, als Erstarrpunkt und die, bei welcher dasselbe leicht aus der Gelatine gezogen werden konnte, als Schmelzpunkt angesehen. Um dieses Verfahren zu controliren und einzuüben, wurde eine Reihe von mehr als 100 Bestimmungen vorgenommen und registrirt. Auf diese Weise wurde zunächst in Erfahrung gebracht, dass bei exacter Ausführung die Resultate nur um wenige Zehntel differirten;

und dass sich also durch Berechnung des Mittels aus einer grösseren Versuchsreihe eine Zahl von, wie aus der unerwartet ausgiebigen Beeinflussung des Gelatinirens durch Salze hervorgehen wird, hinreichender Genauigkeit gewinnen lässt.

Die schon von früheren Beobachtern sichergestellte Differenz zwischen Schmelz- und Erstarrpunkt, die keinesfalls allein auf die verwendete Methode zu beziehen ist, lässt schon einen gewissen Unterschied gegen das Gefrieren und Schmelzen nicht colloider Stoffe hervortreten. Diese Differenz lässt sich einstweilen als Ausdruck einer Trägheit der colloiden Stoffe gegen die Zustandsänderung auffassen. Eine umfassende Theorie des Quellungszustandes wird auch auf diese Eigenthümlichkeit Bezug nehmen müssen. Die Schmelz- und Starrpunktscurven zeigen nur geringe Abweichungen; für die Discussion der gefundenen Thatsachen würde auch die Berücksichtigung der einen oder anderen Werthe ausreichen. Der Vollständigkeit halber sind beide Werthe in den Tabellen wiedergegeben. Sämmtliche Salzlösungen sind auf das wasserfreie Salz berechnet und als Normallösungen im Sinne des Chemikers verwendet. Die Concentrationen sind als Vielfache von Normallösungen in der ersten horizontalen Columne angegeben. Die angeführten Temperaturen sind aus je einer Reihe von Bestimmungen gewonnene Mittelwerthe.

Der Schmelzpunkt 10%iger Wassergelatine betrug 29,61°, der Erstarrpunkt 21,00° C.

A. Chloride in 10% Gelatine.

Erstarrpunkte.

	0,5	1,00	1,5	2,00	2,5	3,00	3,5	4,00	4,5	5,00	5,5
KCl	19,22°	17,4°	15,46°	12,63°	11,1°	9,8°	8,03°	Trübung	—	—	—
NaCl	20,32°	19,33°	18,1°	17,43°	16,16°	13,1°	8,82°	6,3°	Trübung	—	—
NH_4Cl	19,23°	18,2°	17,6°	16,13°	13,9°	12,4°	10,77°	8,2°	6,2	4,46°	Auskrystallisiren

Schmelzpunkte.

	0,5	1,00	1,5	2,00	2,5	3,00	3,5	4,00	4,5	5,00	5,5
KCl	28,33°	26,00°	24,43°	21,53°	20,53°	19,1°	16,16°	—	—	—	—
NaCl	30,13°	28,65°	27,55°	26,7°	24,03°	21,3°	18,83°	18,06°	—	—	—
NH_4Cl	28,46°	27,4°	26,76°	26,00°	24,06°	23,93°	20,8°	18,83°	17,63°	15,95°	—

	0,5	1,00	1,5	
$MgCl_2$ Starrpunkt . .	18,8°	16,7°	Niederschlag	$BaCl_2$ 0,5 Normallösung
$MgCl_2$ Schmelzpunkt.	28,46°	25,83°		Niederschlag

I. Die Chloride setzen den Schmelz- und Erstarrpunkt von 10% Gelatine herab.

II. Mit zunehmender Concentration tritt diese Herabsetzung Anfangs langsamer, dann rascher ein, so dass alle Curven (vgl. Tafel) gegen die Abscisse concav gekrümmt sind. Am stärksten zeigt NaCl dieses Verhalten, am schwächsten KCl, dazwischen steht NH_4Cl.

III. Zwischen Schmelz- und Erstarrpunktscurve besteht im Allgemeinen ein Parallelismus, am besten tritt derselbe am NH_4Cl hervor.

IV. Tritt an Stelle der Leichtmetalle das zweiwerthige Magnesium, so ist die Herabsetzung des Schmelz- und Erstarrpunktes eine nur wenig grössere.

V. Eine Beziehung zwischen der Intensität der Beeinflussung des Gelatinirens und dem Moleculargewichte des Salzes ist nicht zu erkennen, ebenso nicht eine solche zu dem Grade der Dissociation des Salzes (Dissociationscoëfficient von $MgCl_2 = 2,79$, $KCl = 1,81$, $NH_4Cl = 1,82$).

B. Bromide in 10% Gelatine.

Starrpunkte.

	0,5	1,00	1,5	2,00	2,5
KBr . . .	15,86°	11,16°	5,83°	— 1,7°	— 4,83°
NaBr . . .	13,4°	7,4°	— 2,53°	—	—
NH_4Br . .	15,4°	11,5°	7,23°	3,2°	—

Schmelzpunkte.

	0,5	1,00	1,5	2,00	2,5
KBr . . .	24,9°	21,23°	14,9°	8,66°	4,08°
NaBr . . .	22,56°	16,7°	7,5°	—	—
NH_4Br . .	24,26°	19,36°	15,86°	10,8°	—

I. Die Bromide setzen den Schmelz- und Erstarrpunkt in weit stärkerem Maasse herab als die Chloride.

II. Diese Wirkung verläuft mit zunehmender Concentration nach einer steilen annähernd Geraden, da die Concavität gegen die Abscisse kaum angedeutet ist (vgl. Tafel).

III. Der Parallelismus der Schmelz- und Erstarrpunktscurven ist noch zutreffender als bei den Chloriden.

IV. Das Natronsalz zeigt die Wirkung stärker als das Kalium- oder Ammoniaksalz, die sich fast übereinstimmend verhalten, doch sind sämmtliche Curven gegenüber den Chloriden nahe an einander gerückt.

C. Jodide in 10 % Gelatine.

Erstarrpunkte.

	0,5	1,00
KJ	10,03°	— 4,23°
NaJ . . .	7,7°	— 8,33°
NH_4J . . .	10,3°	— 0,43°

Schmelzpunkte.

	0,5	1,00
KJ	19,3°	6,23°
NaJ . . .	16,43°	0,66°
NH_4J . .	19,93°	10,87°

I. Die Jodide sind ihrerseits den Bromiden in der Wirkung überlegen.

II. Die zugehörigen Curven fallen noch steiler ab (vgl. Tafel).

III. Schmelz- und Erstarrpunktslinie gehen nahezu parallel.

IV. Jodnatrium wirkt am stärksten, dann folgt das Kali- und schliesslich das Ammonsalz, doch liegen sämmtliche Curven sehr nahe an einander.

D. Sonstige einbasische Salze in 10 % Gelatine.

Erstarrpunkte.

	0,5	1,00
Natriumchlorat.	16,86°	12,13°
Natriumnitrat .	16,06°	10,3°

Schmelzpunkte.

	0,5	1,00
Natriumchlorat.	26,13°	21,2°
Natriumnitrat .	23,73°	19,66°

Natriumacetat	0,5	1,00	1,5	2,00	2,5	
Erstarrpunkt .	21,6°	23,00°	24,26°	24,73°	23,33°	feine milchige Trübung
Schmelzpunkt	30,43°	31,9°	33,6°	34,33°	33,66°	Aufhellung

Natriumchlorat und -nitrat stehen in ihrer Wirkung zwischen den Chloriden und Bromiden, den letzteren jedoch näher. Das letztere ist wirksamer als das erstere. Das Natriumacetat soll erst nach Mittheilung der Befunde bei mehrbasischen Salzen vergleichsweise besprochen werden.

E. Sulfate in 10 % Gelatine.

Erstarrpunkte.

	0,25	0,5	0,75	1,00	1,25	1,5	1,75	2,00
Na_2SO_4 .	23,26°	24,91°	trüb	—	—	—	—	—
K_2SO_4 . .	22,75°	24,63°	25,23°	trüb	—	—	—	—
$MgSO_4$ . .	—	23,47°	—	24,73°	—	26,35°	—	trüb
$(NH_4)_2SO_4$	22,9°	23,6°	24,38°	25,5°	26,1°	27,15°	28,00°	Fällung

Schmelzpunkte.

	0,25	0,5	0,75	1,00	1,25	1,5	1,75	2,00
Na_2SO_4 .	32,8°	34,48°	trüb	—	—	—	—	—
K_2SO_4 . .	32,16°	33,84°	34,72°	trüb	—	—	—	—
$MgSO_4$ . .	—	33,78°	—	34,73°	—	36,4°	—	Trübung
$(NH_4)_2SO_4$	32,6°	33,05°	34,22°	34,96°	35,96°	36,68°	37,68°	Fällung

I. Sämmtliche untersuchten Sulfate steigern die Schmelz- und Erstarrtemperatur der 10 %igen Gelatine.

II. Die erzielten Werthe liegen nahe an einander und lassen sich abfallend ordnen nach der Reihe Na, K, NH_4, Mg.

III. Schmelz- und Erstarrpunktscurven zeigen einen weitgehenden Parallelismus.

IV. Nach der Fähigkeit, Gelatine zur Gerinnung zu bringen, ordnen sich abfallend Na, K, Mg, NH_4.

V. Die Wirkung auf den Schmelz-(Erstarr-)punkt folgt annähernd einer Geraden mit zunehmender Concentration, keinesfalls wächst der Effect bei Näherung an den Fällungswerth.

F. Sonstige mehrbasische Säuren.

		0,5	1,00	1,5
Erstarrpunkt . .	Natriumtartrat (neutral)	22,13°	24,2°	feinflockige Fällung
Schmelzpunkt . .		32,23°	32,7°	

		0,5	1,00	1,5
Erstarrpunkt . . Schmelzpunkt . .	Kaliumchromat (neutral)	19,63° 29,4°	18,43° 29,00°	19,9° 30,93°

		0,5	1,00	1,5
Erstarrpunkt . . Schmelzpunkt . .	Natriumcitrat (neutral)	21,46° 31,9°	25,66° 35,46°	flockige Fällung

I. Das neutrale Tartrat des Natrium wirkt ähnlich, wenn auch etwas weniger ausgiebig als die Sulfate.

II. Das Chromat des Kalium schwankt bezüglich der Beeinflussung des Gelatinirens in der Nähe der Werthe der Wassergelatine, setzt aber den Schmelz- und Erstarrpunkt leicht herab.

III. Das neutrale Natriumcitrat wirkt ursprünglich schwächer, aber im Sinne der Sulfate, nähert sich jedoch denselben mit zunehmender Concentration. Die einfache Normallösung wirkt schon in der Intensität gleich der entsprechenden Lösung von Kaliumsulfat, dem das Salz auch in der Fällungsgrenze nahesteht.

Natriumacetat (s. o.).

I. Dieses einbasische Salz verhält sich, abweichend von den anderen Verbindungen einbasischer Säuren, in Bezug auf das Gelatiniren im Sinne der Sulfate.

II. Die zugehörige Curve zeigt eine auffallende Form, indem der erstarrende Effect auf die (10 %) Gelatine Anfangs mit der Concentration, wenn auch in zunehmend geringerem Grade, wächst. Etwa für die Concentration 2,00 (Normal) zeigt die Curve einen Inversionspunkt, der bereits nahe der Fällungsgrenze liegt. Im absteigenden Curvenaste nimmt der Effect stärker ab, als er im aufsteigenden wuchs.

III. In Bezug auf die Beeinflussung des Gelatinirens steht das Salz den Sulfaten und dem Tartrat nach, der Fällungswerth für Gelatine liegt höher als der des Ammonsulfates.

Die Reihe der obigen Salze lautet abfallend geordnet nach ihrer Fähigkeit:

a) Gelatine zu fällen:

Natriumsulfat, Kaliumsulfat, Natriumcitrat, Magnesiumchlorid, Natriumtartrat, Magnesiumsulfat, Ammoniumsulfat, Natriumacetat, Kaliumchlorid, Natriumchlorid;

b) das Gelatiniren zu begünstigen:

Natriumsulfat, Kaliumsulfat, Natriumcitrat, Ammonsulfat, Magnesiumsulfat, Natriumtartrat, Natriumacetat.

G. Einige organische Stoffe.

Von diesen wurden Harnstoff, Alkohol und Glycerin untersucht. Für den ersteren wurde die Concentration in Vielfachen einer Normallösung (Grammmoleculargewicht in 1000 Theilen Lösung), von den letzten zwei Stoffen nach Volumprocenten in Wasser gerechnet.

		0,5	1,00	1,5	2,00	2,5
Harnstoff	Erstarrpunkt	18,76°	14,93°	12,5°	9,13°	6,5°
	Schmelzpunkt	28,06°	14,8°	21,96°	20,06°	17,33°

		0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %
Alkohol	Erstarrpunkt	21,003°	20,96°	20,16°	19,46°	19,96°	Trübung	—
	Schmelzpunkt	29,613°	28,23°	28,00°	27,2°	27,1°	—	—
Glycerin	Erstarrpunkt	21,003°	22,1°	23,1°	24,3°	25,7°	26,66°	28,00°
	Schmelzpunkt	29,613°	31,53°	32,7°	34,23°	36,00°	37,13°	38,06°

I. Harnstoff setzt die Gelatinirungstemperatur herab. Mit den Salzen verglichen steht er zwischen Ammoniumchlorid und Natriumchlorat hinsichtlich der Intensität seiner Wirkung. Dieser Stellung gemäss ist auch das zugehörige Diagramm eine steil abfallende Gerade. Schmelz- und Starrpunktscurve gehen annähernd parallel.

II. Alkohol setzt die Gelatinirungstemperatur in mässigem Grade herab. Mit zunehmender Concentration nimmt diese Wirkung rascher zu, die Curvenform entspricht also etwa der des Natriumchlorid.

III. Glycerin begünstigt das Gelatiniren ähnlich den Sulfaten. Der Effect wächst mit der Concentration annähernd nach einer Geraden, dabei divergiren Schmelz- und Starrpunktscurve ein wenig.

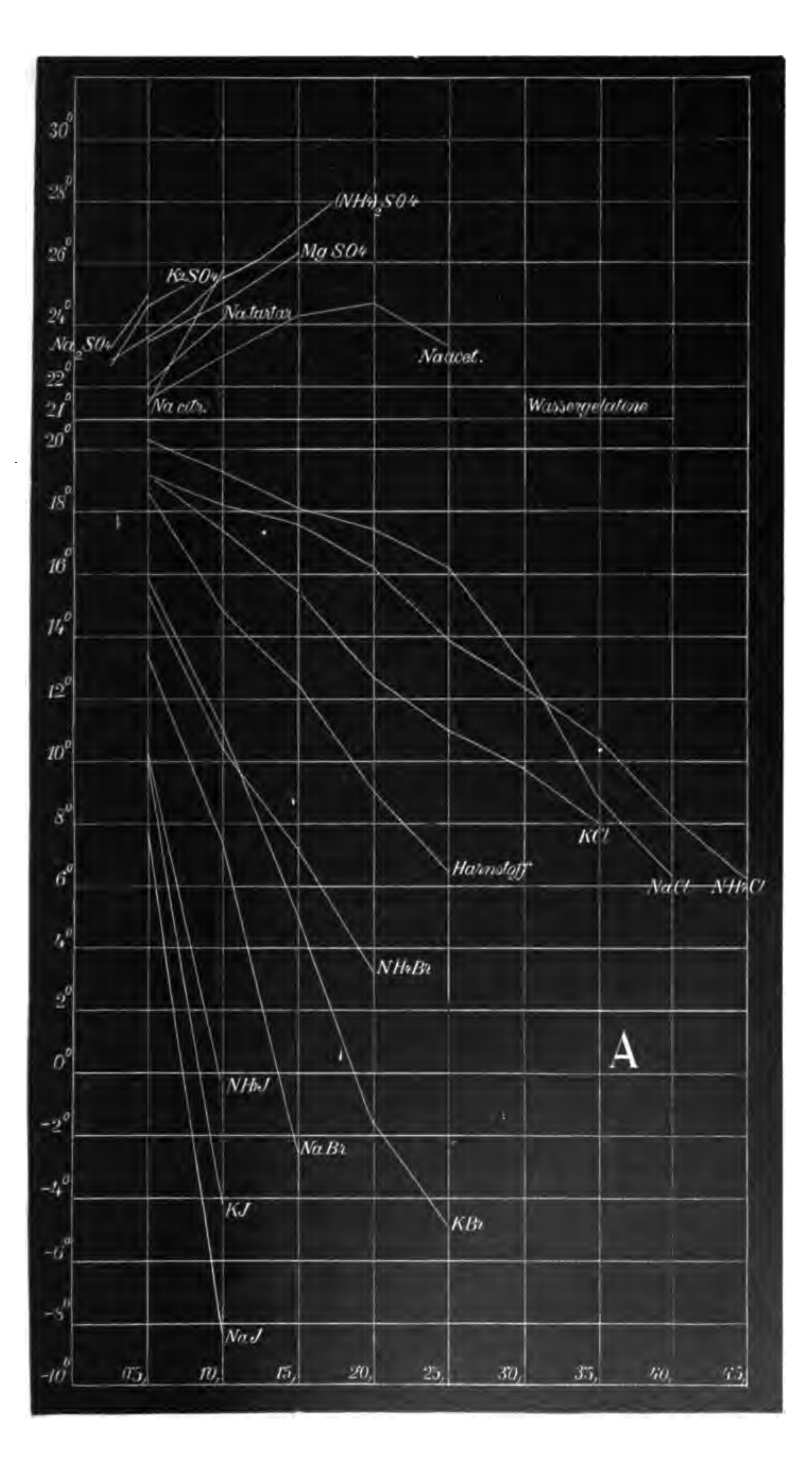
Die tabellarisch mitgetheilten Resultate sind aus der beigegebenen Curventafel übersichtlich zu entnehmen. Doch sind der besseren Deutlichkeit halber nur Erstarrpunktscurven wiedergegeben und einzelne Salze, deren Curven zu nahe an anderen (derselben Gruppe) liegen, aus demselben Grunde fortgelassen.

Auf der Ordinate bedeuten 10 Einheiten 2° Celsius, auf der Abscisse 12 Einheiten die Concentration 0,5, auf Normallösung bezogen. Für die Gelatine fällenden Salze stellt die Abscissenhöhe des Curvenendpunktes zugleich den Fällungswerth dar.

3) Die obigen Versuchsresultate haben gegeben, dass man die Gelatinirungstemperatur einer 10⁰/₀igen Gelatine durch Aenderung des Quellungsmittels innerhalb von mehr als 40 Celsiusgraden variiren kann, ohne dass damit die Grenzen erreicht worden wären. Es soll nun weiterhin der Versuch gemacht werden, aus den gefundenen Thatsachen, soweit dies ausführbar ist, gewisse allgemeine Sätze herauszuheben und anschliessend den Zusammenhang mit den bekannten Beziehungen zwischen colloidalen und salzartigen Stoffen zu erörtern. Vor Allem hat sich gezeigt, dass für die so auffallende Fähigkeit der Salze, das Gelatiniren zu beeinflussen, die im Salze enthaltene Säure die überwiegende Bedeutung besitzt, neben welcher die des basischen Antheiles, wenn auch nicht vollständig, in den Hintergrund tritt. Die Salze zerfallen (in Bezug auf 10⁰/₀ige Gelatine) in zwei Gruppen, in eine, welche im Vergleiche zur Wassergelatine das Gelatiniren begünstigt, also schon bei einer höheren Temperatur ermöglicht, und in eine zweite, diesen Vorgang hemmende. In keinem der untersuchten Fälle hat die Aenderung des basischen Antheiles die Wirkung des Salzes soweit zu beeinflussen vermocht, dass das Salz einer bestimmten Säure durch den Eintritt der Base aus der einen Gruppe in die andere versetzt wurde.

Ordnen wir die Salze nach ihrer Fähigkeit, das Gelatiniren zu begünstigen oder zu hemmen, so gelangen wir zu folgender Eintheilung:

Sulfat,
Citrat,
Tartrat,
Acetat,
(Wasser),
Chlorid,
Chlorat,


30°
28°
26°
24°
22°
21°
20°
18°
16°
14°
12°
10°
8°
6°
4°
2°
0°
-2°
-4°
-6°
-8°
-10°
05,
10,
15,
20,
25,
30,
35,
40,
45,
(NH4)2SO4
MgSO4
K2SO4
Na tartar.
Na2SO4
Na acet.
Na citr.
Wassergelatine
KCl
Harnstoff
NaCl
NH4Cl
NH4Br
NH4J
NaBr
KJ
KBr
NaJ
A

Nitrat,
Bromid,
Jodid.

Die Betrachtung dieser Reihe zeigt, dass die Eigenschaft der Salze, das Gelatiniren zu beeinflussen, keineswegs in einer einfachen Beziehung zu den gegenwärtig eingehend erkannten Gesetzmässigkeiten der Salzlösungen stehen dürfte. Zunächst gilt dies für die „colligativen" Eigenschaften derselben. Wäre nämlich im Sinne der van t'Hoff'schen Theorie für die Aenderung der Gelatinirtemperatur, ähnlich wie für osmotischen Druck, Gefrier- und Siedepunkt, die Zahl der in einer Lösung enthaltenen Salzmolecüle maassgebend, so müsste eine Salzlösung in ihrer Wirkung stets durch die äquimoleculare Lösung eines anderen Salzes zu ersetzen sein und das Verhalten der Wassergelatine müsste einen Grenzfall darstellen. Beides ist nicht der Fall. Der Dissociationszustand der Salze lässt sich gleichfalls nicht als für deren Wirkung auf das Gelatiniren wesentlich ansprechen, da organische, nicht dissociationsfähige Stoffe in wässeriger Lösung nach beiden Richtungen (hemmend und fördernd) wirken können. Auch dem Grade der Dissociation scheint keine ausschlaggebende Wirkung zuzukommen. Die Ionisation sämmtlicher Chloride übertrifft die des Magnesiumsulfates bedeutend, insbesondere gilt dies vom Magnesiumchlorid. Von diesen Salzen sind es gerade die stärker dissociirten, die das Gelatiniren hemmen, von den übrigen Salzen sind es die schwächer dissociirten.

Hofmeister[5]) hat in seinen grundlegenden Arbeiten „Ueber die Wirkung der Salze" die Beziehungen zwischen der colloidfälligen Wirkung derselben und deren sonstigen Eigenschaften eingehend untersucht. Ein flüchtiger Blick auf die Tabellen zeigt, dass sich unter den das Gelatiniren fördernden Salzen ausschliesslich fällende, unter den das Gelatiniren hemmenden vorwiegend solche befinden, die in keiner der erreichbaren Concentrationen die Gelatine niederschlagen. Hier spricht gegen eine directe Proportionalität dieser Eigenschaften einerseits das Bestehen von Ausnahmen, wie Natrium- und Kaliumchlorid, die mit zunehmender Concentration bis zum Fällungswerthe das Gelatiniren in fast gleichem Maasse zunehmend hemmen. Diese hemmende Wirkung ist selbst in der unmittelbaren Nähe der Fällungsconcentration nicht relativ vermindert. Andererseits zeigen sämmtliche das Gelatiniren fördernde Salze keinerlei Zunahme dieser Wirkung in der Nähe des Fällungswerthes, und

Salze, wie das Tartrat beispielsweise, welches schon bei relativ niedrigen Concentrationen Gelatine fällt, werden von dem erst bei höheren fällenden Ammonsulfat in ihrer gelatinirungsfördernden Eigenschaft absolut übertroffen. Die Wirkung auf die Gelatinirtemperatur lässt sich auch nicht bei Concentrationen vergleichen, die Bruchtheile des Fällungswerthes darstellen.

Mit dieser mangelnden einfachen Beziehung zwischen colligativen Eigenschaften und colloidalem Fällungsvermögen der Salze einerseits und ihrer das Gelatiniren alterirenden Fähigkeit andererseits steht es in gutem Einklange, dass zahlreiche in den Hofmeister'schen Untersuchungen beigebrachte Thatsachen für einen Zusammenhang des „Wasseranziehungsvermögens" der Salze und ihres Fällungsvermögens sprechen. In letzterem Falle spielt die Dissociation des Salzes eine grosse Rolle, dieses zeigte sich auch in unseren Versuchen. Unter den Sulfaten bewirkt das schwächer dissociirte Magnesiumsulfat (Coëfficient $i = 1{,}25$) erst bei einer Concentration von 2,00 Normal eine schwache Trübung, während das stärker dissociirte Magnesiumchlorid ($i = 2{,}79$) bei 1,5 Normal schon einen mächtigen Gelatineniederschlag gibt. Dass übrigens Wasseranziehungsvermögen und die Aenderung des Gelatinirens durch einen Stoff einander fernerstehende Functionen desselben sind, zeigt auch das gegentheilige Verhalten des Alkohols und Glycerins, denen die erstere Wirkung gemeinschaftlich ist, während Alkohol das Gelatiniren hemmt, Glycerin dasselbe in hohem Maasse begünstigt.

Gegenüber diesen mannigfachen Verschiedenheiten lässt sich eine auffallende Uebereinstimmung mit einer Eigenschaft der Salze constatiren, deren Kenntniss wir gleichfalls den Untersuchungen Hofmeister's[2]) verdanken. Dieser hat festgestellt, dass die Salze hinsichtlich ihrer Fähigkeit, die Quellung zu verhindern, beziehentlich zu begünstigen, sich folgendermaassen gruppiren:

Natriumsulfat, -tartrat, -citrat,
Natriumacetat,
(Wasser,)
Chloride,
Chlorat, Nitrat, Bromid.

Die Uebereinstimmung dieser Eintheilung mit der für die Gelatinirungsänderung maassgebenden ist unzweifelhaft. Wir können sohin im Allgemeinen sagen, dass die Salze, welche die Quellungs-

geschwindigkeit herabsetzen, den Schmelz- und Erstarrpunkt der Gelatine erhöhen und umgekehrt.

Doch ergeben sich auch hier einzelne Abweichungen, die nicht übergangen werden dürfen. In den Versuchen Hofmeister's, die mit ca. 20%igem Leim durchgeführt sind, zeigte sich bei genauer Bestimmung des in die Leimplatten aufgenommenen Wassers und gleichzeitig eingelagerten Salzes, dass sich unter diesen Umständen für jedes untersuchte Salz eine Concentration finden liess, für die die Quellung maximal und innerhalb gewisser Sättigungsstufen die Wasseraufnahme grösser war als in reinem Wasser.

Der Unterschied zwischen den zwei Gruppen von Salzen war dann bei Berücksichtigung verschiedener Concentration bloss ein quantitativer, indem das Quellungsoptimum von quellungshindernden Salzen bei sehr niedrigem Salzgehalte lag.

Die vorstehenden Untersuchungen über das Gelatiniren sind zunächst nur an 10%iger Gelatine ausgeführt worden, und für diese liess sich, soweit die Genauigkeit der Methode reichte, auch an niederen Concentrationen der Sulfate kein Inflexionspunkt der Curve, wie ihn das Hofmeister'sche Quellungsoptimum darstellt, ermitteln. (Natriumacetat, das in seiner Art am schwächsten wirksame Salz, ausgenommen.) Es sprechen jedoch manche Thatsachen dafür, dass die Trennung der Salzgruppen nach ihrer Wirkung auf die Quellungsgeschwindigkeit für dünnere Gelatinen eine ganz scharfe während die Beeinflussung der Gelatinirung durch die Salze bei concentrirterer Gelatine Uebergänge der Gruppen bieten wird.

4. Unsere Versuche und Betrachtungen haben uns neue Merkmale für den durch das sogenannte Gelatiniren erzeugten Quellungszustand finden lassen. Einerseits zeigten sich neben der Verwandtschaft zu den Gerinnungsvorgängen deutliche Unterschiede von denselben, andererseits lassen die Beziehungen der Salze zu der Gelatinirung markante Abweichungen von der Zustandsänderung hervortreten, welche wir als Gefrieren oder Erstarren schlechthin bezeichnen. Bütschli[6]) hat durch die nachgewiesene Uebereinstimmung in der Schaumstructur an sämmtlichen colloiden Stoffen, das Zellprotoplasma inbegriffen, vornehmlich in morphologischer Richtung die Bedeutung der Studien des Quellungszustandes für biologische Zwecke hervorgehoben. In einer neueren Arbeit hat er auch durch besondere physikalische Versuche, wie Trocknung und Trübung der Gelatine im Vacuum, Verkürzung gezerrt fixirter

Gelatine beim Erwärmen u. dgl. seine morphologische Auffassung des Quellungszustandes zu stützen versucht. Nach ihm ist das Gelatiniren ein Entmischungsvorgang, die Abscheidung eines festeren wabenbildenden Gerüstwerkes in der Gelatine. Die obigen Versuche, welche einiges Licht auf die Beziehungen zwischen Gelatinirung und Gerinnung werfen, lassen sich, wenn überhaupt, nur mit grosser Einschränkung für die Theorie Bütschli's verwerthen.

Dass die Gelatine als Lösungsmittel eine eigene Stellung einnimmt, zeigte sich auch bei unseren Versuchen. Ihr Festwerden führt nicht zur Abscheidung des Salzes, sowie dies beim Auskrystallisiren durch Erfrieren einer Lösung statt hat. Ein Theil des Salzes wenigstens hat die Eigenschaften, die es in wässeriger Lösung hätte; so krystallisirt unter Umständen der Ueberschuss bei der Temperatur aus der Gelatine aus, bei welcher seine eine Löslichkeit im Wasser nicht mehr hinreicht. Andererseits zeigt die mögliche gegensätzliche Beeinflussung des Gelatinirens durch Salze einen tiefgehenden Unterschied gegen die Erstarrung anderer Flüssigkeiten, die stets durch die Anwesenheit eines gelösten Stoffes auf eine niedere Temperatur herabgedrückt wird.

Bei dem Versuche, uns von dem Zustande einer starren Gelatine ein anschauliches Bild zu machen, welches auch insbesondere die Abhängigkeit von der Temperatur umfassen soll, muss namentlich auf gewisse Eigenthümlichkeiten der Gelatine Rücksicht genommen werden. In früheren Versuchen hatte sich gezeigt, dass das Wasser aus hochgradig gequollenen Stoffen beinahe wie aus einer freien Wasserfläche abdunstet, und erst mit zunehmender Eindickung der gequollenen Masse wird die Verdampfung immer mehr erschwert. Wir können diese Erscheinung auch so ausdrücken, dass im Zustande starker Quellung das Wasser weniger fest gebunden ist, als im Zustande geringerer Quellung. Damit sei über die Art dieser Wasserbindung keinerlei Entscheidung getroffen, ob dieselbe nun physikalisch oder chemisch (Hydratbildung) sei*). Ausserdem

*) Spiro[8]) hat erst jüngst auf die mannigfachen Uebergänge hingewiesen, die zwischen den „Lösungsaffinitäten" und „chemischen Affinitäten" bestehen. Die von uns aus den Hofmeister'schen Resultaten abgeleitete Formel der Quellungsgeschwindigkeit lässt sich leicht durch eine geringe Umgestaltung mit dem Gesetze der chemischen Reactionsgeschwindigkeit einer bestimmten Classe von Vorgängen (Zuckerinversion, Zerfall von Methylacetat in Methylalkohol und Essigsäure u. dgl.) identificiren. Bezeichnet man mit M das Quellungsmaximum, mit Q den in der Zeit t erreichten Quellungsgrad, dann ist

wissen wir, dass die Gelatine mit abnehmender Concentration (lockerer Wasserverbindung) immer niedrigere Schmelzpunkte aufweist. Es sei hier aus der unter Forster's Leitung ausgeführten Untersuchung von van der Helde[4]) eine Tabelle von Schmelzpunkten angeführt, die sich auf Concentration (C) wasser- und aschefreier Leimsubstanz in destillirtem Wasser gelöst beziehen.

C	E	E_1
1,6 %	27,3 °	24,3 °
4,1 %	31,0 °	28,5 °
6,0 %	31,6 °	29,0 °
8,0 %	31,8 °	29,5 °
16,0 %	32,1 °	30,4 °

Aus dieser Tabelle tritt eine andere, ebenfalls von van der Helde gefundene Thatsache hervor, dass nämlich die Gelatine längere Zeit nach der Erstarrung höhere Schmelzpunkte (Reihe E) besitzt, als unmittelbar darnach (Reihe E_1).

Denken wir uns nun eine jede Gelatine aus Verbindungen von Leim- und Wassertheilchen zusammengesetzt, die einen stetigen Uebergang von der festesten bis zur losesten Wasserbindung bilden, derart, dass die Zahl der Theilchen mit stärker gebundenem Wasser mit zunehmender Concentration die locker wasserbindenden Elemente immer mehr überwiegt, so gewinnen wir leicht eine Reihe, welche continuirlich vom festen Aggregatzustande zur colloidalen Lösung hinüberleitet. In demselben Sinne, wie Abnahme der Concentration bei gleicher Temperatur, wirkt Zunahme der Temperatur bei gleicher Concentration, indem sie continuirlich den festen in den flüssigen Zustand übergehen lässt. Wir können also sagen: Steigerung der Temperatur lockert die Wasserbindung in der Gelatine.

Die Annahme, dass die jeweilige Concentration einer Gelatine immer nur einen Mittelwerth aus allen möglichen Gelatine-Wasser-

---

$\frac{dQ}{dt} = (M-Q)k$ der Ausdruck für die Quellungsgeschwindigkeit. Gesetzt, dass ein Theilchen quellbarer Substanz maximal n Wassertheilchen aufnehmen könne, und wären in der Volumseinheit beim Quellungsmaximum (M) m solche Theilchen, dann ist $m.n$ die aufgenommene Wassermenge und xn die dem Quellungsgrade Q entsprechende Wassermenge, wenn nur x-Theilchen maximal mit Wasser gesättigt sind. Dann wird $\frac{ndx}{dt} = (mn-xn)\,k$ oder $\frac{dx}{dt} = (m-x)\,k$, d. h. die Geschwindigkeit der Wasserbindung ist der jeweiligen noch bindungsfähigen Masse proportional.

lösungen vorstellt, lässt also jede Gelatine als ein Gemenge von Theilchen verschiedenen Aggregatzustandes erscheinen. Solche Gemenge zeigen in der That alle die Erscheinungen bei der Zustandsänderung, welche die Gelatine aufweist, Auseinandergehen von Schmelz- und Erstarrpunkt etc.

Es sei hier eine Aeusserung Frankenheim's[7]) über die Fette angeführt:

„Wachse und alle Arten Fett oder Fettsäuren und Harze sind Gemenge eines flüssigen Theiles und mikroskopischer Krystalle, die aber als Körper von fast gleichem specifischem Gewichte und starker Flächenanziehung nur schwer von einander zu trennen sind . . .“

„In diesen halbflüssigen Körpern befinden sich die flüssigen Theile, welche durch den festen Bestandtheil fein vertheilt und vor Störungen geschützt sind, in einer zur Ueberschmelzung sehr günstigen Lage, so dass sie auch unter ihrem Schmelzpunkt lange flüssig bleiben und das Ganze in einem plastischen Zustande erhalten können. Wenn die Erkaltung fortdauert, so erstarren zwar die flüssigen Theile, da dieses aber an den vielen von einander isolirten Stellen nur allmälig und in weit längeren Zwischenräumen eintritt, als es bei einer stetigen Flüssigkeit der Fall sein würde, so wird auch die Erstarrung des ganzen Körpers über einen grösseren Zeitraum vertheilt werden.“

„Dieser Uebergang wird noch durch den Umstand verzögert, dass in allen diesen Körpern ein Theil des flüssigen Bestandtheiles in dem festen auflöslich ist. Bei einer gewissen Temperatur ist alles flüssig. Sowie diese fällt, scheidet sich ein Theil der gelösten Stoffe aus, und dieses dauert stetig fort, so lange noch ein Theil flüssig ist. Der Körper hat also in dem langen Zeitraume an Temperaturen, wo alles fest und alles flüssig ist, alle Eigenschaften, die man halbflüssigen Stoffen zuschreibt . . .“

Rüdorff[7]) bemerkt über den Erstarrungspunkt von Hammeltalg und Rindertalg:

„Die Masse erstarrt nicht bei einer bestimmten Temperatur, sondern dies geschieht ganz allmälig, während die Temperatur um viele Grade sinkt.“

„Mit dem Erstarren eines Theiles der Mischung wird der flüssig bleibende Theil von anderer Zusammensetzung und erlangt dadurch einen sich stets ändernden Erstarrpunkt. Es möchte dieses Verhalten der Mischungen ganz geeignet sein, zu erklären, wesshalb sich

der Erstarrpunkt des Hammel- und Rindertalges und anderer Fette so wenig genau bestimmen lässt." *)

Dass der Erstarrungspunkt der Gelatine mit der Zeit etwas höher wird, spricht für ein allmäliges Festerwerden der Wasserbindung. Die Annahme, dass Gelatine aus Theilchen aufgebaut ist, die alle möglichen Werthe um einen Mittelwerth repräsentiren, involvirt schon eine gewisse Labilität ihres inneren Zustandes. Ueberdies sind auch an festen Körpern allmälige Structurveränderungen nichts Ungewöhnliches. Es sei hier nur an den langsamen Uebergang gewisser amorpher in krystallinische Modificationen erinnert.

Die Wirkungen der Salze auf den Zustand der Gelatine liessen sich wohl mit der Aenderung des Gelatinirens bei verschiedenem Wassergehalte der Gelatine vergleichen. Auch lassen sich complicirtere Erscheinungen, wie die Uebergänge der Gelatinircurven durch zwei interferirende Wirkungen des Salzes innerhalb der Gelatine übersehen, doch kann der Ausbau unserer Vorstellungen unbeschadet dem der Thatsachen folgen.

5) Bei den Versuchen, Gelatine in verschiedenen Salzmischungen aufzulösen, hatte sich nebenher gezeigt, dass die Gelatine in der Gruppe, Sulfat, Citrat etc. schwerer in Lösung ging als in der gelatinirungshemmenden Reihe. Es ist somit anzunehmen, dass auch in Bezug auf die Löslichkeit der Gelatine ähnliche Beziehungen zu den Salzen zu Tage treten, wie in den Verhältnissen der Zustandsänderung durch dieselben und auch der Beeinflussung der Quellungsgeschwindigkeit. Sicher gilt dies mindestens innerhalb weiter Temperaturgrenzen in der Nähe des Schmelzpunktes für die Beeinflussung der Viscosität der Gelatine durch Salze. Die Salze der einen Gruppe bewirken im Sinne einer Temperaturerniedrigung eine Steigerung des inneren Reibungscoefficienten, die der anderen das Gegentheil. Auch nach dieser Richtung tritt die Gelatine zu anderen Lösungsmitteln in auffallenden Gegensatz.

6) Versuche über Schrumpfung von Gelatinen in stark wasseranziehenden Lösungen (Salze, Alkohol, Glycerin) wurden hauptsächlich aus dem Grunde unternommen, um die dabei stattfindenden Gestaltänderungen zu studiren, da ja auch Körperzellen unter Umständen ähnlichen Bedingungen unterworfen sind. Salze, welche die Quellungsgeschwindigkeit gegenüber dem Wasser begünstigen, be-

*) Vgl. auch Pfaundler, Wiener Akademie-Berichte Bd. 73 H. 2 S. 249.

wirken selbst in gesättigter Lösung auch an Gelatine von niedriger Concentration (3 %) keinerlei Schrumpfungserscheinungen. Von den Salzen der Gegengruppe ist nur das Ammonsulfat in so gesättigter Lösung erhältlich, dass es ausgiebige Schrumpfungserscheinungen veranlasst. Alkohol und Glycerin bewirken beide mächtige Schrumpfung.

Eine gewisse Abhängigkeit von der Festigkeit der Wasserbindung lassen auch die Schrumpfungserscheinungen erkennen. Dieselben sind an Gelatinen von geringerer Concentration ausgiebiger als an solchen von höherer, ebenso bei höherer Temperatur gegenüber einer niederen. Ein auffallendes Beispiel für die letztere Thatsache bietet Agar (2 %), welches bei Zimmertemperatur nur von Glycerin zu geringer Schrumpfung gebracht wird, während es bei 80°, also in der Nähe seines Schmelzpunktes, eine bedeutende Schrumpfung in Ammonsulfat gesättigter Lösung erfährt.

Bütschli[6]) hat zuerst bei der Trocknung von Gelatinewürfeln eigenthümliche Gestaltveränderungen beobachtet, indem nämlich die Würfelkanten rascher trocknen und durch stärkere Spannung zunächst die Seitenflächen des Würfels ausbauchen. Schreitet die Trocknung weiter, so sinken die Flächen immer mehr ein, und es kommt zu der Bildung eines kleinen Würfelkernes, der von zwölf Flächen getragen wird, die von den Kanten des kleinen zu denen des ursprünglichen Würfels verlaufen. Trocknet man anders geformte Gelatine, so zeigen sich analoge Spannungs- und Contractionserscheinungen.

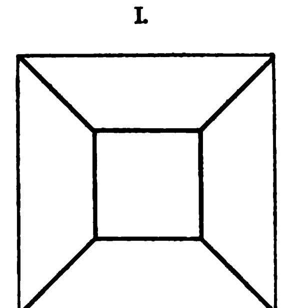
In unseren Schrumpfungsversuchen traten keinerlei Kantenspannungen auf; deren Resultate lassen sich vielmehr so formuliren, dass bei der Volumverminderung von Gelatine durch Wasserentziehung für geringe ursprüngliche Concentrationen und Concentrationsänderungen Oberflächenveränderungen eintreten, wie sie dünne Flüssigkeitshäutchen ausführen. Aus einem Würfel entsteht bei der fortschreitenden Schrumpfung ein an den Kanten aufgehängter, gegen den Mittelpunkt sich zurückziehender Würfel, an einem niedrigen Cylinder sinkt die Mantelfläche stärker ein als die Grundflächen u. dgl. m.

Mit der Bemerkung, dass sich dünne schrumpfende Gelatine verhält, als ob sie von einem gespannten Häutchen überkleidet wäre, soll jedoch nur eine kurze, indirecte Beschreibung der vorliegenden Verhältnisse auf Grund einer Aehnlichkeit gegeben sein. Dieselben lassen sich auch für den Fall einer Schrumpfung von concentrirter Gelatine oder des Endstadiums einer schrumpfenden dünnen Gelatine

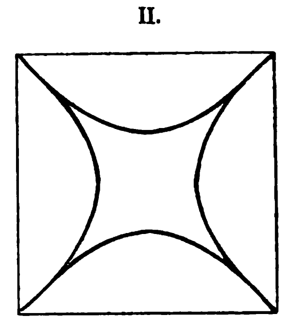
leicht im Princip mit Hülfe unserer Kenntnisse der Wasserbindung bei verschiedenen Quellungsgraden verstehen.

Wir hätten eine dünne Scheibe von Gelatine quadratischer Form etwa zwischen zwei Deckgläschen so gelegt, dass deren Abstand der Dicke der Scheibe entspricht, und bringen diese Vorrichtung in eine Salzlösung von constant gehaltener Sättigung, dann werden nur die schmalen Ringflächen dieses quadratischen Prismas der Wasserentziehung unterworfen sein. An den dünnen Kanten wird die Wasserentziehung rasch bis zur Grenze gehen und, indem bei ursprünglich dünner Gelatine mit zunehmender Schrumpfung die Wasserbindung nur wenig zunimmt, wird die Wasserabgabe proportional der gebotenen Fläche bleiben. Es resultirt dann die Form I im Querschnitte, der ursprünglich quadratisch war.

I.



II.



Nimmt man von vornherein Gelatine starker Concentration, dann wird mit zunehmender Schrumpfung und Abnahme des Quellungsgrades auch die Wasserabgabe rasch abnehmen. So wird dann etwa eine Form II resultiren.

In den Endstadien des Falles I, wo die Abnahme des Quellungsgrades schon merklich wird, kommt es gleichfalls zu ähnlicher Abrundung der Kantenwinkel. Für die vorliegenden Zwecke möge diese elementare Betrachtungsweise eines dünnen, durch die Achsenebene eines Würfels gelegten Schnittes genügen.

Da zu den Schrumpfungsversuchen gesättigte Lösungen genommen werden mussten, so kam für die Wirksamkeit eines Salzes auch noch dessen Löslichkeit und Moleculargewicht in Betracht. In Hinblick darauf zeigt die Reihe Ammon-, Magnesium-, Natriumsulfat, Natriumacetat die Abnahme der Wirkung in zureichender Uebereinstimmung mit der die Quellungsgeschwindigkeit hemmenden Gruppe.

7) Mit den erörterten Beobachtungen über Beziehungen zwischen Gelatine und Salzen lassen sich ungezwungen mannigfache Erscheinungen aus dem Gebiete der Physiologie in Verbindung bringen. Quellungs- und Schrumpfungsvorgänge sind unter den Thierzellen wohl am eingehendsten an den rothen Blutkörperchen studirt worden. Die Versuche auf diesem Gebiete sind von Hamburger[8]) inaugurirt und insbesondere von Köppe[9]) im Lichte der Theorie van t'Hoff's und von Arrhenius übersichtlich und widerspruchslos erfasst worden. Unter welchen Bedingungen kann diese Theorie ohne Weiteres für die Volumschwankungen quellbarer Stoffe in Salzlösungen gültig sein? Dieses ist nur dann der Fall, wenn der quellbare Körper sich als vollständig undurchlässig für seine eigenen salzartigen Bestandtheile und für die der Umgebung erweist, und wenn die möglichen Schwankungen des Quellungsgrades innerhalb solcher Grenzen stattfinden, dass damit keine wesentlichen Aenderungen des Wasserbindungsvermögens einhergehen. Dann stellt ein solcher quellbarer Körper gleichsam eine Zelle mit halbdurchlässigen Wänden dar, deren Volumen nur die osmotische Druckdifferenz der inneren und äusseren Salzlösung bestimmt. Für eine Gruppe von gewissen Salzen ist dies bei den rothen Blutkörperchen der Fall, und zwar sowohl für das Volumen als für die Resistenz derselben, den minimalen Quellungsgrad, bei dem die Haemoglobinstromaverbindung dissociirt. Solche Stoffe sind beispielsweise Natrium-, Kaliumsulfat, Zucker etc. Für diese stimmen auf Grund der Blutkörperchenmethode ermittelte Dissociationscoëfficienten oder isosmotische Coëfficienten mit der Theorie (Willerding). Da die Gelatine für kein Salz sich ganz undurchlässig erwies, bestände ein qualitativer Unterschied gegenüber den rothen Blutkörperchen. Hier bilden die Brücke Salze, welche theilweise in die Blutkörperchen eindringen, sodass die jeweilige Differenz des eingedrungenen und draussen gebliebenen Antheiles deren Volumen bestimmt, z. B. die Chloride des Natriums und Kaliums analog dem Ammonsulfat gegenüber der Gelatine, oder solche, die keinerlei Zeichen von „Wasseranziehung“ hervorbringen, da der quellbare Stoff für dieselben vollständig durchlässig ist; im Sinne Spiro's richtiger ausgedrückt sind das Substanzen, deren Lösungsaffinität zu Wasser (Serum) gleich oder gar geringer ist als zu dem Quellungsmittel. Für die Gelatine sind dies z. B. die Bromide, Jodide, Harnstoff, für die Erythrocyten Harnstoff, Ammoniumchlorid, Glycerin, Aether etc. (Gryns).

In der Auswahl dieser Stoffe zeigen sich zwischen verschiedenen Quellungsmitteln (Gelatine, Blutkörperchen) Unterschiede, die dafür sprechen, dass specifisch chemische Differenzen vorliegen, die vorläufig eine umfassende theoretische Betrachtung der einzelnen Thatsachen auszuschliessen scheinen.

Praktisch wichtig sind die oben entwickelten Anschauungen für die Bestimmung des Blutkörperchenvolums nach Bleibtreu, die bereits in die Pathologie Eingang gefunden hat (Limbeck[12]), Kossler[13])). Der inzwischen erfolgte Ausbau der Beziehungen von Salzen und Blutkörperchen erfordert gewisse Veränderungen an den bisherigen Methoden. Wenn Kossler das Serum durch eine Kochsalzlösung von demselben Gefrierpunkte verdünnt, um das Körperchenvolum nicht zu alteriren, so ist dieser Zweck keineswegs ideal erreicht, denn da ein Theil dieser Kochsalzlösung in die rothen Blutkörperchen eindringt, so ist ihr osmotischer Druck zu niedrig. Kossler hebt auch hervor, dass man annehmen könne, dass der Zusatz der isosmotischen Lösung zum Serum keinerlei Wanderung von Salz und Wasser aus den Blutkörperchen in die Aussenflüssigkeit hervorrufen könne, ohne einen aequivalenten Gegenstrom zu erzeugen. Das kann keineswegs für Bestandtheile des Blutes gelten, für die das Blutkörperchen permeabel ist. Diese müssen aus denselben vollständig unabhängig entsprechend der Concentrationsdifferenz gegen die Aussenflüssigkeit diffundiren. Solches gilt beispielsweise für den Harnstoff, der ja im Blute des Nephritikers in grösserer Menge gefunden werden kann. Die Grösse, welche diese Fehlerquellen bei der Anwendung des Bleibtreu'schen Verfahrens erreichen, ist noch durch subtile Untersuchungen zu ermitteln. Jedenfalls empfiehlt sich z. B. das Natriumsulfat (mit Berücksichtigung der Dissociation) für diese Zwecke mehr als das Chlorid. —

Unsere Beobachtungen über Schrumpfungsformen legen es auch nahe, an dieselben einige Bemerkungen über die Gestalt der rothen Blutkörperchen zu knüpfen. Während wir bei den weissen Blutzellen zahlreiche Anhaltspunkte dafür besitzen, dass für deren Gestalt Oberflächenspannungswirkungen bestimmend sind — es sei hier nur an deren kugelige Ruheform und an die Analogie der amöboiden Bewegung mit den Oberflächenspannungserscheinungen an Oeltropfen (Gad, Quinke) erinnert —, nähern sich die Erythrocyten in ihren Eigenschaften vielfach den festen Körpern, wie die grosse Stabilität der Gestalt und namentlich der Besitz einer nicht unbedeutenden

Verschiebungselasticität beweist. Da Schrumpfungsformen selbst an Gelatinen von unvergleichlich grösserer Festigkeit als die rothen Blutzellen auftreten, so wäre zur Erklärung der bekannten auffallenden Gestalt unserer Erythrocyten die Annahme verlockend, dass dieselben in Form von cylindrischen Scheibchen gebildet erst durch Schrumpfung in einem relativ hypertonischen Serum nachträglich ihre Dellen erhalten. In Folge der hochgradigen Undurchlässigkeit für Salze des Serums, der geringen Dimensionen und des hohen Quellungsgrades der rothen Blutkörperchen sind Schrumpfungserscheinungen schon bei geringen osmotischen Druckdifferenzen möglich. Bei den schrumpfenden Gelatinescheiben im Dimensionenverhältnisse der rothen Blutkörperchen ist es nie gelungen, die stärkere Schrumpfung der Mantelfläche, welche dem allgemeinen Principe der Schrumpfungsgestalten entspricht, zu vermeiden. Die Gestalt der rothen Blutzellen ist durch Schrumpfung aus einer homogenen Scheibe nicht ableitbar. So blieben denn die zwei Annahmen übrig, dass die Erythrocyten aus zwei Substanzen von verschiedener Quellbarkeit (Ring und Centrum) aufgebaut sind, oder dass die im circulirenden Blute beobachtete Form vorgebildet ist. Für eine inhomogene Zusammensetzung der Blutkörperchen lassen sich keine Stützen beibringen, da die Tendenz zur Ausgleichung der Dellen bei Quellung in dünnen Salzlösungen durch die in Folge verschiedener Dicke geänderte Quellungsgeschwindigkeit ausreichende Erklärung findet.

Hingegen lehrt die Entwicklungsgeschichte der rothen Blutzellen, dass dieselben aus ursprünglich kernhaltigen Gebilden entstehen. Der nachträgliche Kernverlust würde in Folge fehlender Oberflächenspannung sehr wohl zu der definitiven Gestalt der kreisenden Blutkörperchen führen können. Die Gestalt der rothen Blutkörperchen lässt sich also nicht als secundäre Schrumpfungsform auffassen, vielmehr könnte die dellenförmige Vertiefung einem Substanzverluste (Kern?) entsprechen.

Die Thatsache, dass Salze die innere Reibung colloider Lösungen unter Umständen verringern und die Löslichkeit der Colloide begünstigen können, lässt uns deren Rolle im Körper in einer neuen Auffassung erscheinen. Es sei hier ganz allgemein auf die Bedeutung derselben für die Resorption, für den inneren Reibungscoëfficienten des Blutes und die Herzarbeit hingewiesen, ebenso auf die noch dunklen Beziehungen der Eiweisskörper zu ihren Aschebestandtheilen. Auf diese Verhältnisse sowie auf die Uebergänge zwischen Muskel-

contraction (Quellung) und Starre (Gerinnung) soll erst eingegangen werden, bis die vorliegenden Untersuchungen auch auf die Eiweissstoffe, denen ein besonderes Verhalten gegen die Temperatur zukommt, ausgedehnt sind. An die physikalische Bearbeitung der Quellungserscheinungen wird sich folgerichtig die der Gerinnungsphänomene anschliessen.

Literatur.

1) Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiologie S. 219. 1897.
2) Hofmeister, Archiv f. exp. Path. u. Pharm. Bd. 18 S. 210.
3) Spiro, Ueber physikalische und physiologische Selection. Strassburg 1897, Habilitationsschrift, Elsäss. Verlagsanstalt.
4) Ch. v. d. Helde, Gelatinöse Lösungen und Verflüssigung der Nährgelatine, Inaug.-Diss. München 1897, R. Oldenburg.
5) Hofmeister, Arch. f. exp. Path. u. Pharm. Bd. 25 S. 1.
6) Bütschli, Verh. d. naturh. med. Vereines zu Heidelberg. N. F. Bd. 5. — Bütschli, Abth. d. Kön. Ges. d. Wissensch. zu Göttingen Bd. 15.
7) O. Lehmann, Molecularphysik Bd. 1 S. 696 u. 751.
8) Hamburger, Arch. f. Anat. u. Phys. S. 1886 u. 1887.
9) H. Köppe, Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiologie 1897, S. 189.
10) Willerding, Hamburger's Blutkörperchenmethode in ihren Beziehungen zu den Gesetzen des osmotischen Druckes. Inaug.-Dissert. Giessen 1897. Münchow'sche Druckerei.
11) Gryns, Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiologie, 1896.
12) Limbeck, Grundriss einer klin. Path. des Blutes 2. Auflage. S. 359.
13) Kossler, Centralblatt für innere Medicin, 1897. S. 657.

Ein Beitrag zur Physiologie der glatten Muskeln.

Von

Cand. med. **Hans Winkler** aus Zedlitz (Kr. Ohlau).

(Mit 15 Textfiguren.)

A) Einleitung.

In der langen Reihe verschiedener Bewegungsorgane, an deren einem äussersten Ende die blitzschnell sich zusammenziehenden Flügelmuskeln vieler Insecten, an deren anderem die im Vergleich mit jenen überaus trägen und langsam arbeitenden glatten Muskeln unserer Blutgefässe stehen, gibt es eine Unzahl von Zwischenformen; denn weder alle quergestreiften, noch alle glatten Muskeln ziehen sich in Folge eines einmaligen, ausreichend starken Reizes gleich schnell zusammen. Ja es gibt sicherlich auch Uebergänge derart, dass gewisse glatte Muskeln schneller arbeiten, als selbst manche quergestreifte. Im Allgemeinen aber sind doch die glatten diejenigen, die ausserordentlich langsam sich verkürzen und dehnen. Von einer „Zuckung" in Folge eines einzelnen Reizes kann man kaum sprechen; denn gewöhnlich nur mit zweckmässigen Hülfsmitteln, gar nicht unmittelbar, kann man wahrnehmen, dass in dem Zeitraume von Secunden bis Minuten die Gestalt der glatten Muskeln, beziehungsweise der aus ihnen aufgebauten Organe sich, oft nur ein wenig, verändert hat.

Diese Unscheinbarkeit ihres Erfolges ist wohl hauptsächlich einer der Gründe, wesshalb ihnen — obwohl sie doch so ausserordentlich verbreitet sind und in kaum einem Organe unseres Körpers vermisst werden — doch eine im Ganzen nicht so eingehende Aufmerksamkeit zugewendet wurde, als ihren Brüdern, den quergestreiften Muskeln, die durch ihre Massenhaftigkeit sowie durch die Art ihrer Arbeit und ihrer Leistungen den Forscher geradezu zu ihrer Untersuchung herausfordern.

Und doch ist gerade die Kenntniss gewisser Vorgänge an den glatten Muskeln von grossem, ja von grundsätzlichem Werth für die

Kenntniss von Muskelbewegungen überhaupt und den Ursachen, welche zu jenen Bewegungen geführt haben. So sind, um bloss eines zu nennen, die Gesetzlichkeiten, welche bei der Erregung von allen Muskeln durch den elektrischen Strom bestehen, wesentlich durch die hierbei an glatten Muskeln sich abspielenden Vorgänge erkannt und verständlich gemacht worden.

In erster Linie war es die wichtige Arbeit von Fick[1]), in welcher, so viel ich weiss, zum ersten Mal ein glatter Muskel als Versuchsobject in die Technik eingeführt wurde, der sich auch späterhin vielen andern Forschern als ganz vortrefflich bewährt hat, nämlich der Schliessmuskel von Muscheln (Anodontaarten).

Als besonders beachtenswerthes Ergebniss dieser Arbeit dürfte hier hervorzuheben sein, dass für die elektrische Reizung eines Muskels, und zwar nicht bloss eines glatten, trägen, sondern auch eines flinken, quergestreiften, der betreffende Reizstrom ihn eine bestimmte Zeit durchströmen muss. Diese Zeit kann um so kürzer sein, je stärker der Strom ist, und ist im Allgemeinen viel kürzer bei schnellen, länger bei trägen Muskeln. So konnte Fick die höchst interessante Thatsache beobachten, „dass in demselben Stromkreis, der die zweite Spirale eines gewöhnlichen Schlittenapparates schliesst, ein Froschmuskel in heftigstem Tetanus begriffen sein kann, während der Muschelmuskel keine Spur von Erregung zeigt", und umgekehrt blieb der Froschmuskel in Ruhe und der Muschelmuskel zog sich zusammen, wenn man den Strom in beiden Präparaten sehr allmälig ansteigen liess.

Ganz ähnliche Thatsachen konnte später Engelmann[2]) in seinen wichtigen Untersuchungen an dem Ureter von Säugethieren feststellen, der bekanntlich ein aus zwei oder mehr Lagen von glatten Muskeln zusammengesetztes, dünnes Rohr darstellt. Je stärker der verwendete Reizstrom war, um so kürzere Zeit (etwa $^1/_8$ Secunde), je schwächer er war, um so länger (bis zu 6 Secunden) musste er den Ureter durchsetzen, damit eine eben merkbare Schliessungscontraction ausgelöst wurde. Einzelne Inductionsströme, die ja einen sehr jähen Verlauf und eine äusserst kurze Zeitdauer haben, wirkten ausserordentlich schwach reizend. Man bedurfte „gewaltiger Stromstärken", um irgend eine Wirkung zu sehen.

1) Beiträge zur vergleichenden Physiologie der irritablen Substanzen. Braunschweig 1863.

2) Pflüger's Archiv Bd. 3 S. 247 (263). 1870.

Bei diesen Erregungen vertritt Engelmann die Ansicht, dass es sich lediglich um die Reizung muskulöser Elemente handle, und dass namentlich keine Ganglienzellen dabei im Spiele seien, die sich an den zur Reizung verwendeten Stellen des Ureters überhaupt nicht fänden. Die Erregung trifft also unmittelbar die Muskelzelle und wird ohne Vermittelung des Nervensystems von Muskelzelle zu Muskelzelle fortgeleitet. Der Ureter verhält sich „wie eine einzige, kolossale, hohle Muskelfaser ohne motorische Nerven".

In neuerer Zeit hat zwar Disselhorst[1]) gangliöse Elemente und Endigungen von Nervenbündeln besonders am Nierenbecken und am Blasenende des Harnleiters nachgewiesen. Das eigentliche Muskelrohr des Harnleiters ist nach ihm frei von Ganglienzellen, aber ziemlich reich an Nerven. Ganglienhaufen finden sich ausserdem vielfach in der Nähe von Gefässen[2]).

Selbstverständlich ist damit nicht obige Annahme von Engelmann widerlegt; denn auch trotz des Vorhandenseins von Nerven oder nervösen Apparaten kann die Reizung selbst und ihre Fortleitung in Form einer peristaltischen und antiperistaltischen Welle der Regel nach doch sehr wohl lediglich an die Mulkelzelle geknüpft sein[3]).

Weitere Aufschlüsse über das oft merkwürdige Verhalten glatter Muskeln gegenüber elektrischen Reizen geben dann lehrreiche Arbeiten von Biedermann[4]) und von Pawlow[5]), welche beide wieder an dem Fick'schen Präparat, dem Schliessmuskel von Anodonta und nahezu gleichzeitig ihre Versuche anstellten.

Uns interessirt aus der Biedermann'schen Arbeit zunächst vor allen Dingen die Thatsache, dass der aus irgend welchen Ursachen, namentlich in Folge der Präparation in andauernde tonische Zusammenziehung versetzte Muskel weder durch einen einzigen, noch selbst durch eine ganze Reihe von Inductionsschlägen mit Erfolg gereizt

---

1) Der Harnleiter der Wirbelthiere. Wiesbaden 1894. (Sonderabdr. aus den anat. Heften von Merkel und Bonnet.)

2) Ganz kürzlich hat Protopopow (Pflüger's Archiv Bd. 66 S. 1, 1897) den Harnleiter anatomisch und physiologisch sehr sorgfältig untersucht und Nervenelemente in allen seinen Schichten gefunden. Die Nerven sind nach ihm über die ganze Länge desselben vertheilt, die Nervenzellen findet man vorzugsweise an seinen Enden.

3) S. hierüber auch Biedermann, Elektrophysiologie Abth. 1 S. 144. 1895.

4) Wiener Akademie-Berichte Bd. 91 Abth. 3 S. 29. 1885.

5) Pflüger's Archiv Bd. 37 S. 6. 1885.

werden kann, wohl aber durch die Oeffnung eines Kettenstromes, dagegen nicht oder kaum durch die Schliessung eines solchen. Der an und für sich ja viel schwächere Oeffnungsreiz ist also hier wirksam, die sonst ausserordentlich viel stärkeren anderen Reize ganz oder fast ganz unwirksam. Ist dagegen der Muskel allmälig erschlafft und hat er seinen anfänglichen Tonus verloren, was man durch mässige Erwärmung beschleunigen kann, so reagirt er sehr wohl auf verhältnissmässig schwache, einzelne oder hinter einander folgende Inductionsströme mit schwacher Zuckung, beziehungsweise mit kräftigem Tetanus und verhält sich jetzt ganz ähnlich einem quergestreiften Muskel.

Des Weiteren konnte Biedermann die wichtige Thatsache feststellen, dass — wie Aehnliches schon Fick beobachtet hatte — ein tonisch contrahirter Muskel durch einen constanten Strom schnell von seinem Tonus befreit, also erschlafft wird.

Pawlow, welcher in Heidenhain's Institut arbeitete, beobachtete ebenfalls die erregende Wirkung kurzer und die erschlaffende Wirkung länger dauernder Ströme, zeigte aber ferner, dass sowohl die Zusammenziehung wie die Erschlaffung des Muskels verhältnissmässig leicht durch Reizung gewisser Nerven, namentlich durch chemische Reizung derselben, auszuführen ist. Diese letzteren Nerven würde man also als „Hemmungsnerven" oder besser detonisirende Nerven bezeichnen, während ihnen gegenüber die gewöhnlichen motorischen Nerven stehen, deren Reizung eben den Muskel zur Zusammenziehung bringen. Wie freilich jene erschlaffenden Nerven wirken, das ist zur Zeit noch nicht mit Sicherheit festzustellen. Nur möchten wir darauf hinweisen, dass ja auch sonst in Folge elektrischer Einwirkungen (und zwar bei Schliessung eines Stromes an der Anode) Erschlaffungen eintreten[1]).

Von weiteren, unser Thema betreffenden Arbeiten seien hier noch folgende mitgetheilt. Grünhagen und Samkowy[2]) verwendeten den Sphincter pupillae, Ranvier[3]) dagegen unter Anderem ein Präparat, welches — wenn auch in etwas veränderter Form — auch von uns und Andern benutzt wurde, nämlich den Magen des Frosches, beziehungsweise seine Muskelhaut. Aus seinen ungemein interessanten

1) Das Nähere hierüber findet sich in den späteren Arbeiten von Biedermann und seinen Schülern (s. dessen Elektrophysiologie Bd. 1 S. 219), die weiter unten berücksichtigt werden (S. 29).

2) Pflüger's Archiv Bd. 10 S. 165. 1875.

3) Leçons d'anatomie générale sur le système musculaire p. 396. Paris 1876.

und inhaltreichen Untersuchungen, die sich alle durch die Einfachheit und Zierlichkeit der Technik auszeichnen, erwähne ich hier nur die Feststellung des Zuckungsverlaufes, also der Muskelcurve, wie wir sagen würden. Nach einer Latenzdauer von 2—5 Secunden, die sich mit zunehmender Stärke des (elektrischen) Reizes verkürzt, zieht sich der Muskel verhältnissmässig schnell zusammen, innerhalb 20—30 Secunden, und erschlafft, wie auch schon Fick gefunden hatte, viel langsamer, in etwa der doppelten Zeit. Die Grösse der Zusammenziehung ist verhältnissmässig bedeutend, sie beträgt mehr als die Hälfte der einzelnen Faserzelle.

Der Magen, und zwar sowohl der ganze Magen wie ein von seiner Schleimhaut abpräparirtes Stück Muskelhaut, zeigt spontane Pulsationen, ähnlich denjenigen des Herzens, die regelmässig, wenn auch langsam, auf einander folgen und den einzelnen durch elektrische Reize erzeugten Zuckungen, oder besser gesagt Zusammenziehungen, gleichen.

Ranvier führt sie zurück auf Ganglienzellen, welche in oder unter der Serosa auf der eigentlichen Muscularis des Magens gelegen sind. Letztere besteht nach ihm nur aus ringförmig, nicht aus längs verlaufenden Fasern. Alle Theile des Darmrohres, von der Speiseröhre bis zum Dickdarm, zeigen diese spontanen Pulsationen, welche von der Erregbarkeit der Präparate sowie namentlich von der Temperatur abhängig sind.

Ich komme schliesslich noch zu den neuesten Untersuchungen auf unserem Gebiete, und zwar zunächst zu der in dem Bernstein'schen Institute angestellten inhaltsreichen Arbeit von Morgen[1]).

Er benutzte, wie Ranvier, den Magen des Frosches, von dem er einen (gewöhnlich den mittleren) Theil ausschnitt und den so entstandenen Ring in zwei Haken aufhängte, deren unterer mit einem Gewicht von 20—25 g beschwert und zu gleicher Zeit mit einem Zeichenhebel verbunden war. Die Haken dienten zu gleicher Zeit als die den elektrischen Reizstrom zuführenden Elektroden. Der Muskel befand sich selbstverständlich in einer feuchten Kammer. Den Reizstrom lieferte in der Regel eine Batterie von 4—6 kleinen Daniells.

Bei Anwendung dieses Stromes stellte sich nun ein bemerkenswerther Unterschied heraus, je nachdem man den Ring mit oder ohne

1) Ueber Reizbarkeit und Starre der glatten Muskeln. Inaugural-Dissertation. Halle a./S. 1888.

Schleimhaut untersuchte. Ohne mich zunächst auf die Erklärung dieses verschiedenen Verhaltens einzulassen, hebe ich hervor, dass der Muskelring mit der Schleimhaut vielfach die schon oben erwähnten spontanen Zusammenziehungen ausführte und namentlich auf die Schliessung des Stromes, viel weniger dagegen auf die Oeffnung desselben, reagirte. Je mehr aber die Erregbarkeit des Präparates sank, desto mehr trat die Oeffnungscontraction in den Vordergrund, die Schliessungscontraction dagegen zurück. Die erstere schien ausserdem innerhalb gewisser Grenzen mit der Dauer der Durchströmung zuzunehmen.

Wurde aber die Schleimheit von dem Magenring entfernt und die Muskelhaut allein gereizt, dann verschwand die Schliessungscontraction ganz oder fast ganz, und nur bei Oeffnung des Stromes trat eine bedeutende Zusammenziehung ein, die mit der Schliessungsdauer allmälig zunahm. Ferner fehlen bei der Muskelhaut ohne Schleimhaut die spontanen Contractionen ganz oder sind doch viel seltener.

Auf die merkwürdigen Aehnlichkeiten zwischen dem Verhalten des Magenringes und demjenigen des Schliessmuskels der Muscheln, welches Biedermann festgestellt hat, sei hier vorläufig nur hingewiesen.

Schliesslich untersuchte Morgen in gleich sorgfältiger und methodischer Weise auch die Einwirkungen verschiedener chemischer Agentien, die theils in Gasform (Aether, Chloroform, Ammoniak), theils in flüssiger Form (Kochsalzlösungen, Säuren, Alkalien) mit dem Magenring in Berührung gebracht wurden, sowie diejenige verschiedener Temperaturen.

Die letzten (aber nicht der Zeit nach letzten) Arbeiten, welche ich bei meinen Untersuchungen vorfand, oder besser gesagt, hätte vorfinden können (denn ich wurde erst am Ende meiner Arbeit darauf aufmerksam gemacht), rühren von zwei italiänischen Forschern her. Capparelli[1]) untersuchte die Art der Zusammenziehung von verschiedenen glatten Muskeln oder von ganzen muskulösen Organen, wie Harnblase, Speiseröhre, Magen von Warm- und Kaltblütern unter verschiedenen Bedingungen, namentlich unter dem Einfluss verschiedener Temperaturen bei elektrischer Reizung. Dauer der Latenz, Art und Stärke der Zusammenziehung in Folge einmaliger oder wieder-

1) Archives italiennes de biologie T. 2 p. 291. 1882.

holter Reizung und schliesslich der Verlauf der Starre bei dem Absterben der glatten Muskeln werden untersucht und vielfach graphisch verzeichnet.

Während Capparelli an den üblichen und von fast allen Forschern angewendeten Organen seine Versuche anstellte, hat sich Sertoli[1]) eines neuen, ganz besonderen und offenbar vortrefflichen Präparates bedient, nämlich des Musculus retractor penis, der gleich wenig beachtet von Anatomen und Physiologen in der Perinäalgegend liegt und nur von Haut und Fascie bedeckt ist. Er stellt einen glatten, hellrosafarbenen Strang dar, welcher aus parallelen Faserzügen glatter Muskeln besteht. Nach Tödtung der Thiere (Pferde, Esel, Rinder, Hunde) wurde er präparirt, im Kalten bei 5—8° C. aufbewahrt und bei einer Temperatur von 30—37° C. untersucht. So kann er seine Erregbarkeit 5, 6, ja sogar 7 Tage nach der Tödtung des Thieres bewahren. In höherer Temperatur (39—40° C.) stirbt er schnell ab.

Aus der beachtenswerthen Arbeit Sertoli's dürfte an dieser Stelle Folgendes mitzutheilen sein. Nach der Ansicht von Sertoli hat der genannte Muskel keine Ganglienzellen und zeigt, in einer feuchten Kammer bei 20—37° C. aufgehängt und mit einem Gewicht von 15 g beschwert, spontane Contractionen, die nicht alle gleich gross sind und die nahezu ebenso schnell entstehen, wie vergehen. Die Dauer der Zusammenziehung des Muskels ist also etwa gleich der seiner Verlängerung.

Von grundsätzlicher Bedeutung ist hierbei die Thatsache, dass diese Bewegungen 24—48 Stunden nach der Tödtung des Thieres (Pferdes), ja sogar noch am 5. Tage nach derselben beobachtet werden konnten.

Starke Chloraldosen setzen (bei lebenden Thieren) diese Bewegungen bedeutend herab oder heben sie ganz auf. Unterbrechung der künstlichen Athmung an curarisirten Thieren ruft die Bewegungen hervor. Wiedereinleitung der Athmung erzeugt eine schnelle und gewaltige Erschlaffung des Muskels. Aehnlich erschlaffend wirkt Absperrung des Blutes und ein mittelstarker constanter elektrischer Strom (von etwa 6 Daniells).

Elektrische Reizung des Muskels durch Inductionsströme vermittelst des Du Bois-Reymond'schen Schlittenapparates ergibt,

---

1) Archives italiennes de biologie T. 3 p. 78. 1883.

dass ein einzelner kräftiger Oeffnungsinductionsschlag, welcher eine schmerzhafte Zusammenziehung der Armmuskeln von Sertoli zur Folge hatte, unwirksam ist. Man muss „während eines Augenblickes“ oder „während einer gewissen Zeit“ die einzelnen, schnell auf einander folgenden Ströme des Apparates durch den Muskel schicken, damit sie wirksam werden. Dann beobachtet man, je nach der Dauer und Stärke der angewendeten Ströme, sowie je nach der Erregbarkeit und Belastung des Muskels, verschiedene Zuckungs- oder besser Zusammenziehungscurven. Das Stadium der Latenz ist etwa hundert Mal grösser als beim Wadenmuskel des Frosches, beträgt also nahezu eine Secunde (0,8—0,85 Secunden), die ganze Zusammenziehung dauert 90—120 Secunden. Hiervon entfällt auf den Vorgang der Zusammenziehung im engern Sinne (d. i. auf den Anstieg der Curve) etwa $^1/_7$—$^1/_6$, also 15—20 Secunden, auf den Abstieg der Rest, also 75—80 Secunden.

Es weichen diese Zahlen etwas von denen anderer Forscher ab, was wohl zum Theil an der Art der Reizung liegen mag. Es ist daher auch die Zusammenziehungscurve, welche Sertoli auf Seite 86 seiner Arbeit wiedergibt, worauf mich Herr Prof. Grützner besonders aufmerksam macht, möglicher Weise gar keine Zuckungscurve, sondern höchstwahrscheinlich eine Tetanuscurve, weil sie nicht durch einen Reiz, sondern durch eine ganze Reihe von Reizen erzeugt worden ist, worüber weiter unten noch Weiteres mitgetheilt wird.

Sertoli scheint allerdings zu glauben, dass ein Tetanus, also eine Summation von Reizen erst dann entsteht, wenn die Dauer der Reizung die Zeit des Anstiegs überschreitet[1]). Ich glaube nicht, dass man zu dieser Annahme berechtigt ist. Wenigstens ist, wie ja schon die bekannten Versuche von Helmholtz gelehrt haben, bei dem quergestreiften Muskel die Sache anders. Wenn man alles das eine Zuckung nennen wollte, was durch eine Reihenfolge von Reizen ausgelöst wird, welche mit dem Beginne der Zuckung anheben und sich bis zum Höhepunkt der Curve fortsetzen, also alle in das Stadium der steigenden Energie fallen, so würde man sehr merkwürdige und sehr mannigfaltige Zuckungscurven erhalten.

Des Weiteren wird die Gestalt dieser seiner Tetanuscurve besprochen, welche von der des quergestreiften Muskels abweicht, während

1) Die Worte lauten: Si la durée de l'excitation dépasse celle de la période du plus fort raccourcissement, on a alors une courbe, qui est celle du tétanos.

die Arbeitsleistung des glatten Muskels gleich der des quergestreiften bei mittleren Belastungen am grössten ist.

Reizung des Präparates mit constanten Strömen ergibt Folgendes: Während „mittelstarke" Ströme (6 Daniells!), wie schon oben erwähnt wurde, den spontan thätigen Muskel schlaff machen, bringen „stärkere" Ströme (20 Daniells!) denselben zur Zusammenziehung. Dieselbe tritt 2—3 Secunden nach Schliessung des Stromes ein, entwickelt sich langsam, bleibt während der Durchströmung (die zu 100 Secunden Dauer angenommen ist), und auch noch nach derselben bestehen. Erst 10—12 Secunden nach Oeffnung des Stromes verlängert sich der Muskel. Oeffnungserregungen finden sich ebenfalls; sie sind schwächer als diejenigen bei der Schliessung. Ueberhaupt aber, was für unsere oben ausgesprochene Vermuthung spricht, sind diese durch den constanten elektrischen Strom erzeugten Zusammenziehungen viel kleiner, als die durch eine Reihenfolge von inducirten Strömen.

Wenn man desshalb die Frage zu beantworten hätte, wer zuerst die Zuckungs- oder Contractionscurve eines glatten Muskels gezeichnet, beziehungsweise beschrieben hat — vorausgesetzt, dass man dieselbe überhaupt mit Sicherheit kennt —, so ist dies meines Wissens für den glatten Muskel eines Wirbellosen Fick, für denjenigen eines Wirbelthieres Ranvier gewesen. Man kann nämlich, abgesehen von andern, weiter unten mitzutheilenden Thatsachen, immer einwenden, dass man nicht die Muskelsubstanz allein, sondern zugleich die in ihr befindlichen Nerven und Ganglienzellen erregt hat. Auch Sertoli dürfte von dem Retractor penis Zuckungscurven gezeichnet haben, die er durch kurz dauernde Reizung mit einem constanten Strom erhalten hat. Ob er solche veröffentlicht hat, ist mir nicht bekannt.

Schliesslich hat Sertoli auch noch, wie die meisten andern Forscher auf diesem Gebiete, den Einfluss verschiedener Temperaturen auf den Retractor untersucht und, abgesehen von den oben schon mitgetheilten Thatsachen, unter Anderem, ähnlich wie Ranvier, gefunden, dass wesentlich die Temperaturschwankungen sowohl positive wie negative erregend wirken.

Erwähnt seien schliesslich noch die hochinteressanten Arbeiten von Mosso und Pellacani, sowie von Pellacani[1]) allein, welche sich allerdings auf ein ganzes muskulöses Organ mit all' seinen

1) Archives ital. de biolog. T. 1 S. 95, 1882, und T. 2 S. 302, 1882.

nervösen Verbindungen, nämlich auf die Harnblase und ihre Bewegungen beziehen.

Das sind im Wesentlichen die Arbeiten über die Physiologie der glatten Muskeln, welche mir vorlagen, als ich meine Untersuchungen begonnen, beziehungsweise nahezu abgeschlossen hatte. Sie sind hier auf Veranlassung von Herrn Prof. Grützner, unter dessen Anregung und Leitung ich meine Arbeit ausführte, desshalb ausführlicher, als dies vielleicht sonst üblich ist, mitgetheilt, weil fast in jeder dieser Arbeiten der spätere Forscher nichts weiss, beziehungsweise nichts erwähnt von dem, was der eine oder der andere seiner Vorgänger auf demselben Gebiete schon gesehen und veröffentlicht hat.

Meine Untersuchungen stellte ich im Physiologischen Institut in Tübingen im Wintersemester 1894/95 und im Sommer 1895 an. Leider wurde durch äussere Umstände, namentlich durch meinen Wohnungswechsel, die Veröffentlichung meiner Arbeit so weit hinausgeschoben, dass ich eine ganze Reihe von wichtigen Arbeiten, welche in der Zwischenzeit von damals bis jetzt über unser Thema erschienen sind, nicht weiter berücksichtigen konnte. Folgende Bemerkungen mögen daher genügen.

P. Schultz[1]) hat im Berliner Physiologischen Institut ebenfalls die glatte Muskulatur sowohl vom anatomischen wie physiologischen Gesichtspunkte sorgfältig untersucht und natürlich vielfach dasselbe gesehen, wie ich und Andere, um so mehr, als er auch an demselben Präparat wie ich, an der Muskelhaut des Froschmagens, gearbeitet hat.

In erster Linie beschäftigt er sich mit der histologischen Beschaffenheit der Muskelfaserzellen und ihrer Vereinigung mit dem Nervensystem. Auf Grund der neueren Methoden findet er im Anschluss an frühere Forscher einen ungemein grossen Reichthum dieser Gebilde an Nerven und Nervenzellen, die zwischen den Muskelzellen liegen. Nach der Verschiedenheit ihres Aussehens ist Schultz geneigt, sensible und motorische Ganglienzellen zu unterscheiden, welche mit den betreffenden Nervenfasern einen an Ort und Stelle befindlichen kurzen Reflexbogen darstellen.

Weiterhin prüfte er das Verhalten der Muskelhaut des Froschmagens gegenüber elektrischen Reizen und verwendete hierbei nicht

---

1) Archiv f. Anatomie u. Physiologie (Physiol. Abth.) S. 517, 1895, ebenda S. 543, 1896 und S. 1, 307, 322 und 329, 1897.

wie Ranvier und Bernstein (beziehungsweise Morgen) den geschlossenen Muskelring, sondern schnitt denselben auf, so dass er nach Entfernung der Schleimhaut ein einfaches Muskelband erhielt, welches im Durchschnitt 11 mm lang, $3^1/_2$ mm breit und 1 mm dick war. Wenn aber Schultz weiterhin der Ansicht ist, dass dieses Band nur aus einer einzigen Faserschicht, nämlich den ringförmig verlaufenden Fasern besteht, so möchte ich diese Angabe bezweifeln; keinesfalls galt sie für meine Präparate.

In einer grossen Menge von Längs- und namentlich Querschnitten durch den Froschmagen, welche mir Herr Prof. Grützner vorwies, konnte man sich nämlich auf das Leichteste und Sicherste überzeugen, dass, abgesehen von der innen liegenden, zarten Muscularis mucosae, auf der mächtigen, die Hauptmasse bildenden Ringfaserschicht regelmässig eine wenn auch dünne und zarte muskulöse Längsfaserschicht aussen aufliegt[1]). Hin und wieder verliefen ihre Fasern etwas schräg.

Die Zusammenziehung dieses Muskelbandes in Folge elektrischer Reize wird verzeichnet, desgleichen seine Spannung gemessen, wenn man es an der Zusammenziehung verhindert, und der Einfluss verschiedener Temperaturen hierbei studirt. Steigerung der Temperatur erhöht die Grösse der Zusammenziehung und diejenige der Spannung; das Stadium der Latenz nimmt ab; die Curven werden steiler und kürzer.

Des Weiteren untersuchte Schultz auch in ähnlicher Weise wie Morgen den Einfluss verschiedener chemischer Stoffe auf sein Muskelband, indem er die in Wasser gelösten Stoffe auf dasselbe auftrug. Verschiedene Salzlösungen, Säuren, Alkalien und Alkaloide (Atropin, Nicotin) wurden geprüft, und es wurde nachgesehen, ob sie den Muskel zur Contraction bringen oder sonst seine Erregbarkeit beeinflussen. Beachtenswerth ist die Wirkung des Atropins, welches, wie bekannt, die nervösen Endapparate lähmt[2]), den Muskel selbst

1) Vgl. unter Anderen Stricker, Lehre von den Geweben Bd. 1 S. 399, 1871, woselbst E. Klein sagt: Die Muscularis des Frosches zeigt, obwohl nicht überall, eine innere Rings- und eine um Vieles schwächere äussere Längsschichte ... Gegen den Pylorus wird sowohl die Rings- als auch die nun selbstständig gewordene Längsschichte mächtiger.

2) Siehe auch die Arbeit von Grünhagen und Samkowy, Pflüger's Archiv Bd. 10 S. 166, sowie Kobert, Lehrbuch der Intoxikationen S. 607. 1893, und Pellacani l. c.

aber nicht schädigen soll, während Nicotin dies thut. Atropinisirte Muskeln zeigen daher keinen Tonus und keine spontanen Contractionen, sind aber gut erregbar, z. B. durch den elektrischen Strom.

B) Eigene Untersuchungen.

1) Methodisches.

Das mir von Herrn Prof. Grützner zur Verfügung gestellte Myographion war eine kleinere Abart des gewöhnlichen. Der über den Messingboden desselben gestülpte Glascylinder, welcher innen theilweise mit befeuchtetem Fliesspapier überzogen war, hatte etwa 7 cm Höhe und $5^1/_2$ cm Durchmesser. Auf seinem Boden stand isolirt ein Messingbügel von nebenstehender Gestalt ⊓.

Sein horizontaler Schenkel trug in der Mitte den einen Platinhaken, der durch eine aus dem Glascylinder hervorragende, steile Schraube gehoben und gesenkt werden konnte und zu gleicher Zeit mit der einen Elektrode in Verbindung stand. In ihn wurde der Bernstein'sche Muskelring gehängt, der natürlich auch den untern Haken aufnahm. Dieser stellte die andere Elektrode dar. Er ging in einen 3—4 cm langen dünnen Platindraht über und trat mitten durch eine kleine Oeffnung des Myographionbodens nach unten heraus. Hier wurde er in zweckentsprechender Weise an den leichten Zeichenhebel befestigt und durch einen zweiten, mit dünnem Messing überzogenen Baumwollfaden, welcher die Bewegung in keiner Weise hinderte, mit der Stromquelle in Verbindung gebracht. Die Belastung war gewöhnlich nur gering (0,75—1,0 g), die Vergrösserung der Be wegung 6—8 fach.

Die Aufzeichnung geschah auf eine Trommel des Hürthle'schen Kymographions, welche sich ausserordentlich langsam drehte, 27—28 mm in der Minute.

Den Strom lieferten entweder 2—4 kleine Daniells mit entsprechendem Nebenschluss oder die bekannten Inductionsapparate.

2) Die spontanen Contractionen.

Der in dieser Weise im Myographion aufgehängte Magenring zeigte, wie vorher der ganze Froschmagen, spontane Contractionen, welche meistentheils sofort nach der Befestigung des Präparates an den beiden Platinhaken eintraten, manchmal aber in den ersten

7—10 Minuten noch ausblieben, um dann desto beträchtlicher auszufallen. Der Ring zog sich meistens ziemlich schnell und energisch zusammen und erschlaffte ziemlich langsam, wie dies bereits **Ranvier**

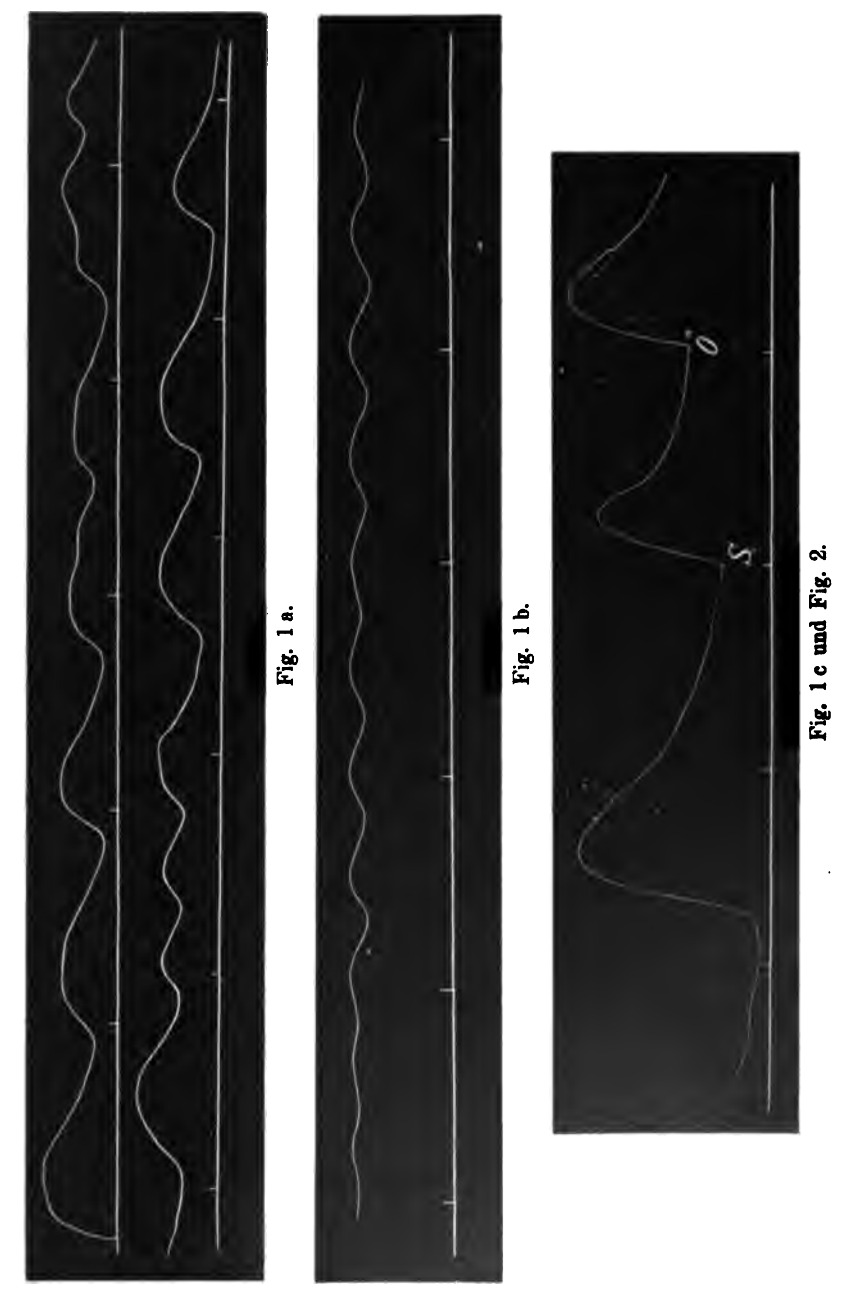


Fig. 1 a.

Fig. 1 b.

Fig. 1 c und Fig. 2.

und Andere gesehen haben. Oefters blieb sogar die Erschlaffung sehr unvollständig oder fehlte überhaupt gänzlich, wenn mehrere spontane Contractionen so rasch auf einander folgten, dass die Muscularis keine Zeit zur vollkommenen Wiederausdehnung fand. Die Grösse der Contractionen richtete sich im Allgemeinen nach der Häufigkeit, mit welcher der Muskelring in einer bestimmten Zeit sich zusammenzog. Folgten z. B. zwei Contractionen unmittelbar auf einander, so fiel die letztere naturgemäss ziemlich unbedeutend aus. Vollständige Erschlaffung des Ringes und somit auch gänzliches Ausbleiben der spontanen Contractionen trat oft erst nach mehreren Stunden ein.

Die beistehende Fig. 1 a zeigt jene spontanen Contractionen eines Magenringes mit Schleimhaut, wie sie sich in der Mehrzahl der Fälle darstellen. Die Maasse auf der Abscisse bedeuten Minuten.

In Fig. 1 b folgen die Zusammenziehungen viel schneller, auch ist der Unterschied zwischen der Länge des Aufstiegs und des Abstiegs viel unbedeutender. Sie kamen dadurch zu Stande, dass ein schleimhautfreier, ruhiger Muskelring einen einzigen Anstoss durch den Strom einer Stöhrer'schen Maschine erhielt.

Fig. 1 c stammt von einem sehr erregbaren Präparat ohne Schleimhaut. Die erste Contraction ist eine spontane. Die beiden folgenden (Fig. 2) sind eine Schliessungs- und eine Oeffnungserregung (*S* und *Ö*). Der Strom blieb eine Minute geschlossen.

Ich möchte hier gleich auf die ganz verschiedenen Typen der Muskelcurven hinweisen, von denen die einen nahezu Sinuscurven gleichen, die andern dagegen eine gewisse Aehnlichkeit wit Veratrincurven quergestreifter Muskeln haben.

Die hier in erster Linie zu erledigende Frage ist die, woher diese spontanen Contractionen kommen. Zunächst mag es sein, dass, wie auch meine Vorgänger gefunden haben, die Muskelhaut im Verein mit der Schleimhaut dieselben in der Regel, aber keineswegs immer, viel gleichmässiger oder gewöhnlich viel länger zeigt, als der Muskelring ohne Schleimhaut. Durch das Entfernen der Schleimhaut, mag es nun noch so sorgfältig und schonend geschehen, werden einmal die Muskeln und namentlich die nervösen Elemente gezerrt und gedehnt und, soweit es sich um die nervösen Elemente in oder unter der Schleimhaut handelt, ganz oder theilweise zerstört. Vollkommen frei von Nerven und Ganglienzellen ist aber selbst ein derartig

präparirter Magenring nicht. Er ist nur ärmer daran und die nervösen Elemente sind vielfach verletzt.

Sind nun diese spontanen Contractionen nervösen oder muskulösen Ursprungs? kann auch der nervenfreie Muskel derartige Contractionen ausführen? Diese Frage ist nicht leicht zu beantworten. Sowohl Ranvier wie Morgen (S. 15), und Schultz (S. 326) sind der Ansicht, dass sie nervösen Ursprungs sind. Schultz hält sie geradezu für Reflexbewegungen. Und es wird von den letzteren Forschern geltend gemacht, dass Narkotika (Morphin, Chloral, Aether, Chloroform) in dem herausgeschnittenen oder noch im Thiere befindlichen Muskel die Contractionen aufheben. Auch Atropin, welches nach Schultz geradezu als das Curare der glatten Muskeln angesehen werden muss, wirkt in gleicher Art.

Trotzdem ich nun diese Behauptungen, in so weit sie sich unmittelbar auf Thatsachen beziehen, durchaus als zu Recht bestehend anerkenne, ja mich theilweise selbst von ihrer Richtigkeit überzeugt habe, so möchte ich doch, in dem ich hier die Anschauungen von Herrn Prof. Grützner wiedergebe, glauben, dass ein gänzlich nervenfreier Muskel auch spontane Contractionen zeigen kann. Dabei will ich natürlich gar nicht bestreiten, sondern im Gegentheil noch ganz besonders hervorheben, dass in sehr vielen Fällen, in welchen eben jene Contractionen zur Beobachtung gelangen, die nervösen Elemente ihre Hand im Spiel haben.

Sertoli gibt an, dass sein Muskelpräparat, in welchem er übrigens Ganglienzellen nicht nachweisen konnte, sich noch nach 5 Tagen rhythmisch zusammenzog. Sollten Ganglienzellen eines Warmblüters in einem abgeschnittenen dünnen Muskelstreifen (wenn wir wirklich annehmen, dass er deren enthielte und sie Sertoli nur nicht gesehen hat), sollten diese und ihre nervösen Verbindungen 5 Tage lang am Leben bleiben? Das ist doch ganz unwahrscheinlich. Wissen wir doch z. B. aus den interessanten Mittheilungen von Langendorff[1]), dass die sympathischen Ganglienzellen von Warmblütern schon kurze Zeit nach der Tödtung der Thiere, d. h. nach Minuten, ihre Erregbarkeit eingebüsst haben und die in sie eintretenden Reize nicht mehr weiterleiten können.

1) Centralblatt für Physiologie Bd. 5 S. 129. 1892.

Wir fragen weiter, würde sich der glatte[1]) Muskel, indem er auch ohne nervösen Einfluss sich mehr oder weniger rhythmisch zusammenzieht, so ganz und gar von allen ähnlichen irritablen Gebilden unterscheiden? Das kann ich nun ganz und gar nicht finden. Die ganglienfreie Herzspitze und der entnervte (curarisirte) quergestreifte Muskel ziehen sich hin und wieder ebenfalls rhythmisch zusammen. Nur eins ist dabei noch nothwendig, beziehungsweise in den meisten Fällen gegeben: Der Muskel muss entweder von Haus aus oder durch experimentelle Eingriffe in einem Zustande erhöhter Erregbar-

---

1) Schultz, bedient sich statt des gewöhnlichen, allgemein verbreiteten Namens „glatte Muskeln" der Bezeichnung „längsgestreifte Muskeln" und spricht den Wunsch aus, dass diese Bezeichnung möglichst bald allgemeine Anerkennung finden möge. Dies wird aber, wie ich glaube, sicherlich nicht stattfinden, und es ist auf das aller Entschiedenste dagegen Einspruch zu erheben, dass eine Bezeichnung, die sich seit Langem eingebürgert hat und auch gar nicht schlecht ist, einfach abgethan und durch eine neue, nebenbei bemerkt, keineswegs gute ersetzt wird. Wenn Jeder so wie Schultz verfahren würde, dann dürfte in der Wissenschaft bald die heilloseste Verwirrung herrschen und Keiner den Andern verstehen.

Ja, wenn selbst die Bezeichnung glatter Muskeln sachlich ganz falsch wäre, d. h. wenn es sich erwiese, dass sie rauh und uneben, aber durchaus nicht glatt wären, selbst dann würde es sich doch empfehlen, diese Bezeichnung „glatt" beizubehalten, sobald sie sich eingebürgert hat. Denn sie erfüllt vollkommen ihren Zweck; jeder Mensch weiss, was man unter derselben zu verstehen hat.

Unter Gymnasium verstanden die Griechen bekanntlich die Stätte, in der die Jünglinge γυμνοί, d. h. nackt körperliche Uebungen ausführten. Auch heut zu Tage haben wir Gymnasien, aber sie bedeuten etwas anderes, und kein Mensch wird das Wort Gymnasium desshalb beseitigen wollen, weil es sachlich nicht zutreffend ist, weil heut zu Tage die Lehrer und Schüler nicht nackt in den Gymnasien herumspringen. —

Soviel ich sehe, besteht das Wort „glatte Muskeln" schon über 50 Jahre und ist in wohl alle Cultursprachen übergegangen (fibre oder muscle lisse (fr.), fibra liscia (ital.), plain fibre (engl.). Ich finde es zuerst bei Henle (Allgem. Anatomie S. 576, 1841). Hier steht: „Diese Art von Muskelfasern, welche man mit dem Namen der glatten, ungegliederten, auch organischen oder unwillkürlichen belegt hat." Kurze Zeit vorher werden diese Muskeln von Schwann (Mikroskop. Untersuchungen S. 167, 1839) mit unwillkürlich, nicht quergestreift, von J. Müller (Handb. d. Physiologie Bd. 2 S. 23, 1840) als leimgebendes contractiles Gewebe bezeichnet. Allgemein scheint der Name „glatt" erst geworden zu sein durch Kölliker's grundlegende „Beiträge zur Kenntniss der glatten Muskeln" (Zeitschr. f. wissenschaftl. Zool. Bd. 1 S. 48, 1849); denn Valentin spricht beispielsweise in Wagner's Handwörterbuch Bd. 1 S. 718, 1842, von einfachen (sogenannten platten oder organischen) Muskelfasern. Grützner.

keit sich befinden, oder, wie man auch sagen kann, in gleichmässiger Weise (am Besten wohl durch chemische Reize) erregt werden[1]).

Das Sertoli'sche, im Kühlen aufbewahrte Präparat musste zunächst erwärmt werden und wurde ferner belastet. Beide Umstände erhöhen die Erregbarkeit. Hiernach kann es uns nicht befremdlich erscheinen, wenn es sich wie der Herz- oder Stammesmuskel verhält.

Aber Herr Prof. Grützner geht noch weiter. So wie ein Muskel von genügender Erregbarkeit in periodische Erregung geräth oder gerathen kann, so findet etwas Aehnliches sicher auch statt bei den Nerven. Ist es ja doch bekannt, dass abgekühlte (d. h. von Kaltfröschen stammende) oder sonstwie, z. B. durch chemische Eingriffe, in ihrer Erregbarkeit erhöhte (motorische) Nerven in Folge eines einmaligen Anstosses den Muskel in Tetanus versetzen, also sicher eine ganze Reihe von Reizanstössen hinter einander in den Muskel senden.

Auch das schwirrende Gefühl, welches man nach Grützner[2]) empfindet, wenn man sich am Ellenbogen an den Nervus ulnaris stösst, dürfte vielleicht der Ausdruck für die rhythmisch (hier natürlich viel schneller als im Muskel) sich folgenden Erregungen in einem sensiblen Nerven sein.

Nach alledem würde der glatte Muskel eine Ausnahmestellung einnehmen, wenn er sich nicht auch ohne nervöse Einflüsse rhythmisch oder periodisch zusammenziehen könnte. Dass er es unterlässt, wenn er und seine nervösen Apparate durch obige Mittel vergiftet sind, spricht nicht gegen unsere Behauptung; denn einmal sind diese Mittel nicht völlig harmlos gegenüber dem Muskel und andererseits können sie ja vielleicht direct hemmend auf die nervösen Apparate einwirken, ohne desshalb die elektrische Erregbarkeit des Muskels selbst nennenswerth zu beeinflussen.

3) Die elektrische Erregung des Muskelringes.

Die Beobachtungen, welche ich bei elektrischer Reizung des Muskelringes gemacht habe, schliessen sich vielfach an diejenigen der oben genannten Forscher, namentlich an diejenigen von Morgen

1) Vgl. Biedermann, Elektrophysiologie S. 89 u. ff., Jena 1895, sowie die neuesten wichtigen Arbeiten von Engelmann (Pflüger's Archiv Bd. 56 S. 149, 1894, Bd. 59 S. 309, 1895, Bd. 61 S. 275, 1895, Bd. 62 S. 543, 1896, und Bd. 65 S. 109 und 535, 1897) über die myogene Natur des Herzschlages.

2) Pflüger's Archiv Bd. 28 S. 130 (178). 1882.

an. Ich brauche daher Manches nur flüchtig zu berühren, da es Bestätigungen früherer Angaben darstellt[1]).

Was zunächst die Reizung mit constanten Strömen anlangt, so bediente ich mich meistens der Bernstein'schen Anordnung; der Muskelring war in Platinhaken aufgehängt, die zugleich als zuführende Elektroden dienten. Ich verwendete aber viel schwächere Stromquellen als Morgen und als Schultz. Ersterer lässt den ganzen Strom von 4—6 kleinen Daniells, letzterer den einer mehrgliedrigen Grove'schen Kette in den Muskel aus Metallelektroden ein-, beziehungsweise aus dem Muskel in diese austreten. Ich bediente mich 2 oder 4 kleiner Daniells mit Nebenschliessung von einigen Hundert bis Tausend Siemens. Da aber schon 4 Daniell mit 200 Siemens Nebenschluss elektrochemische Zersetzungen an dem Muskelring (kleine Gasblasen) erkennen liessen, was bei den Versuchen meiner Vorgänger in noch viel höherem Maasse der Fall gewesen sein muss, so verwendete ich bei vielen elektrischen Reizversuchen einmal möglichst schwache Ströme und ein Paar Elektroden, die für den Muskel nahezu als unpolarisirbar angesehen werden konnten.

Sie waren von Herrn Prof. Grützner folgendermaassen hergerichtet worden. An ein kleines Zinkblech, welches das Ende der oberen Elektrode bildete, war ein horizontales, ⊏ förmiges Glashäkchen befestigt. Ein ebensolches Glashäkchen befand sich an einem kleinen Zinkstück, welches sich in die untere Elektrode fortsetzte. Der Glasstab, aus welchem diese Häkchen gefertigt waren, hatte etwa die Dicke von einem Millimeter. Auf die beiden Glashaken wurde der Muskelring von der Seite her aufgeschoben und von den Zinkstücken eine leitende Verbindung zu dem Muskelring mit Thon hergestellt, der in physiologischer Kochsalzlösung getränkt war[2]).

Auf diese Weise kam der Muskel mit keinem Metall in Berührung. Irgend welche Polarisationserscheinungen liessen sich an ihm nicht beobachten. Seine Erregbarkeit erhielt sich unverhältnissmässig viel länger, als wenn man ihn in Metall(Platin)haken aufgehängt hatte. Auch waren die Zuckungen meistens viel höher, was

1) Der wesentliche Theil der die elektrische Reizung betreffenden Versuche wurde mir von Herrn Prof. Grützner aus seinen Versuchsprotokollen zur Verfügung gestellt.

2) Mit derselben Flüssigkeit getränkte baumwollene Läppchen sind vielleicht noch zweckmässiger. Grützner.

offenbar daher kommt, dass sonst der Muskel durch den elektrischen Strom theilweise getödtet wurde und nur das von beiden Elektroden gleich weit entfernte mittlere Stück am Leben blieb. Es war nämlich bei Anwendung polarisirender, gleich gerichteter Ströme sehr leicht zu sehen, wie die Gegend der Anode in Folge von Säurewirkung weisslich trübe, diejenige der Kathode dagegen durch Laugenwirkung glasig gequollen aussah. Von all' diesen offenbar höchst schädlichen Wirkungen war bei Anwendung jener für den Muskel unpolarisirbaren Elektroden bei meinen Versuchen nichts zu merken.

Fragen wir uns zunächst nach der Art der Zusammenziehung des Muskels, nach seiner Contractionscurve, so ist diese Frage gar nicht so leicht zu beantworten, und vor allen Dingen zur Zeit nach der Ansicht von Herrn Prof. Grützner noch gar nicht genügend beantwortet. Es entsteht nämlich die Frage, wie lange soll man den Strom geschlossen halten, damit man eine einfache Zusammenziehung, oder wenn wir uns die Verhältnisse auf den quergestreiften Muskel übertragen denken, eine einfache „Zuckung" erhält? Eine, zwei oder dreissig oder sechzig Secunden? Denn die Curve ändert sich mit der Dauer des Geschlossenseins an erregbaren Präparaten recht bedeutend, und es nimmt, wie ja schon die Untersuchungen von Fick und Engelmann gezeigt haben, die Stärke der Erregung mit der Dauer des reizenden Stromes zu.

Ich lasse zur Erläuterung einige Curven folgen, die von einem schlaffen, mit bräunlichem Schleim angefüllten Magen eines mittelgrossen Grasfrosches stammen. Die Versuche wurden im December angestellt. Die Länge des in den Glashaken (unpolarisirbaren Elektroden) aufgehängten, durch ein Gewicht von etwa 1,0 g gedehnten Muskelringes betrug 9 mm. Die Schleimhaut des Ringes, der etwas unter der Mitte des Magens herausgeschnitten war, war auf das Schonendste entfernt worden. Die Vergrösserung war 6,6fach. Verwendet wurden zwei ganz kleine Daniells mit Nebenschluss von 2000 Siemens und Reizdauer von einer Secunde. In nebenstehender Fig. 3 sieht man drei Curven dieses Muskels, bei welchem die Anode zweimal oben (↑) und einmal unten (↓) lag. Es fällt der ziemlich geradlinige Anstieg auf, der etwa die Hälfte der Zeit in Anspruch nimmt, als der Abstieg. Die Zeitmarken bedeuten hier, wie überall, Minuten.

Wurde derselbe Strom 5 Secunden auf- und absteigend geschlossen, so erhoben sich ganz anders gestaltete Curven auf die

mehr als doppelte Höhe von etwa 5 cm. Ich nehme von ihrer Mittheilung Abstand und verweise den Leser vielmehr auf Curven, welche der Muskel bei schwächeren (500 Siemens Nebenschliessung) ebenfalls 5 Secunden dauernden Reizen zeichnete (s. Fig. 4). Wie man sieht, stecken

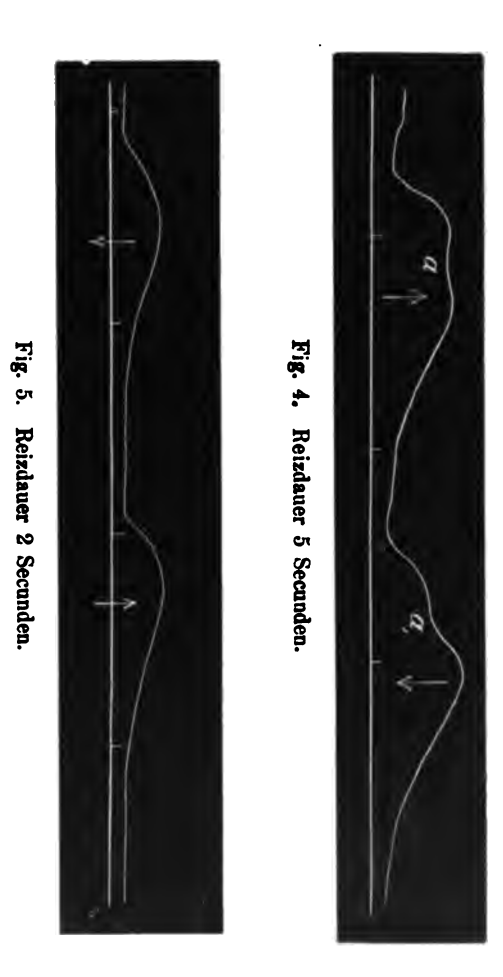


Fig. 5. Reizdauer 2 Secunden.

Fig. 4. Reizdauer 5 Secunden.

Fig. 3. Reizdauer 1 Secunde.

in diesen Curven verschiedene Erregungen. Nach $^1/_3$—$^1/_2$ Minute, bei *a* und a_1, sieht man in beiden Fällen, bei aufsteigenden wie bei absteigenden Strömen, eine zweite Erregung der ersten folgen. Zudem ist der Anstieg bei den beiden Stromrichtungen sehr verschieden, und daher auch die Gestalt der beiden Curven, von denen die eine ein Hochplateau, die andere

einen spitzen Berg bildet. Ausserordentlich oft konnte ich mich an diesem Präparat von dem verschiedenen Aussehen dieser beiden Curven, je nachdem es sich um einen ab- oder aufsteigenden Strom handelte, überzeugen. (Vgl. auch die Curven in Fig. 5, bei denen ein schwacher Strom 2 Secunden geschlossen blieb. Sie stammen von einem anderen Präparat.) Ich habe der Ursache dieser Verschiedenheit nicht weiter nachgespürt. Sie dürfte wohl wesentlich darin gelegen sein, dass die erregende Elektrode das eine Mal oben und das andere Mal unten lag und nicht vollkommen gleich wirkte. Auch mögen sich anodische Erschlaffungen an verschiedenen Stellen und von verschiedener Stärke störend eingeschoben haben. Ich möchte aber hervorheben, dass ich Umkehr der Wirkungen mit Umkehr des Stromes sehr oft bemerkt habe.

Wie kommt nun dieser zweite Reiz bei *a* zu Stande? Ist es etwa ein Oeffnungsreiz? Das ist nicht wahrscheinlich; denn er hätte dann eine Latenz von etwa 20 Secunden. Es ist vielmehr der Ausdruck einer Art von spontaner Thätigkeit des Muskels, die sich in schönster Weise zeigt, wenn man den Strom noch länger, etwa 10, 20, 30 Secunden bis mehrere Minuten geschlossen hält oder die auch bei besonders erregbaren (schleimhautfreien) Präparaten durch einen einmaligen elektrischen (s. Fig. 1, *b*) oder mechanischen Anstoss (s. Figg. 12 u. 13) ausgelöst werden kann. Indem ich die Zwischenstufen übergehe, führe ich eine Curve als Beispiel an (s. Fig. 6), welche diese rhythmischen Zusammenziehungen des Muskels bei constanter, minutenlanger Durchströmung desselben in schönster Weise zeigt. Ein absteigender Strom von 2 Daniells mit 1500 Siemens Nebenschliessung kam zur Verwendung und blieb 4 Minuten geschlossen. Man sieht die starke Schliessungs- und schwächere Oeffnungserregung bei *S* und bei *Ö* und die in Pausen von etwa 0,6 Minuten sich folgenden periodischen Zusammenziehungen. Aufsteigende Ströme wirkten ganz gleich, die Oeffnungserregung war nur etwas stärker. Wir haben also eine Erscheinung vor uns, wie sie in ähnlicher Weise auch für den quergestreiften Muskel von Eckhard und namentlich von Biedermann und Anderen[1]) beobachtet und beschrieben wurde, nämlich eine periodische Zusammenziehung, eine Art Pulsiren in Folge der Durchströmung mit einem constanten Strom. Auch dürften die von Engelmann am Ureter beobachteten, von der Kathode

1) S. Biedermann, Elektrophysiologie Bd. 1 S. 167 u. f.

eines constanten Stromes ausgehenden Wellen eine ähnliche Erscheinung darstellen.

Wenn von meinen Vorgängern noch Niemand — so viel ich weiss — diese merkwürdige Erscheinung am Magenring beobachtet hat, so dürfte dies wohl wesentlich darin liegen, dass man einmal sehr erregbare Muskeln dazu nöthig hat und dass man vor allen Dingen die Muskeln nicht durch zu starke Ströme, die ihnen durch die Metallhaken zugeführt werden, in grosser Ausdehnung abtödten darf.



Fig. 6

Für gewöhnlich haben nun aber die Muskelcurven, die man durch kurze, 1/2—1 Secunde dauernde, elektrische Reizung erzeugt, eine andere Gestalt als die in Fig. 3 dargestellten. Sie gleichen vielmehr den in den früheren Figuren 1 a und 2 wiedergegebenen und sind wahrscheinlich alle insgesammt als summirte Zuckungen anzusehen. Denn sie sind gar zu mannigfaltig. Ganz abgesehen von der ausserordentlichen Verschiedenheit der Latenz, auf die ich noch später eingehen werde, ist auch das Stadium der steigenden Energie bei ihnen sehr verschieden. Ich verfüge über eine grosse Zahl von Curven, welche alle bei mittlerer Zimmertemperatur gezeichnet wurden und deren Aufstiege ihrer Zeit nach von etwa 8—30 Secunden schwankten. Die kürzeren Zeiten fielen allerdings in den Sommer.

Diese Verschiedenheiten dürften kaum anderweitig erklärt werden können. Die verschiedene Temperatur kann es zunächst nicht sein; denn ein und

derselbe Muskel zeichnet oft bei derselben Temperatur ausserordentlich verschiedene Curven. Auch betrugen die Temperaturunterschiede bei meinen Versuchen nicht viel. Im Winter war die Temperatur in dem Experimentirzimmer etwa 18° C., im Sommer 20—22° C. Vielfach steigen die hohen Curven zu gleicher Zeit steil an und die niedrigen flach; aber man kann auch das Umgekehrte nicht selten beobachten.

Dass es sich ferner um verschiedene Muskelelemente handelt, von denen sich die einen schnell, die anderen langsam zusammenziehen, wie etwa die rothen und die weissen beim Kaninchen, daran ist an ein und demselben Muskelring wohl auch nicht zu denken.

Es bleibt daher wohl nur das verschieden schnelle Ergriffenwerden der einzelnen Elemente hinter einander, sowie die verschiedene Zahl der gleichzeitig ergriffenen Elemente übrig, welche diese verschiedenen zeitlichen Verhältnisse erklären, wenn man nicht eben einfach annehmen will, dass jede einzelne Muskelzelle für sich sowohl schnell oder langsam, als auch schwach oder stark sich zusammenziehen kann und dann alle auf einmal in gleicher Art ihre Thätigkeit beginnen, was nicht allzu viel Wahrscheinlichkeit für sich haben dürfte. Viel wahrscheinlicher ist es, wie gesagt, dass solch eine sogenannte „Zuckungscurve" eines glatten Muskels nicht mit einer Zuckungscurve eines quergestreiften Muskels verglichen werden kann. In dieser steckt nur ein einziger, allerdings sich ausbreitender Reizanstoss, in jener aber sicherlich mehrere. Diese letzteren haben, nebenbei bemerkt, häufig eine auffallende Aehnlichkeit mit den von Tigerstedt[1]) gezeichneten Zuckungen eines quergestreiften Muskels bei Reizung desselben mit Schliessung constanter Ströme, vielleicht auch dieselben Ursachen, und erinnern, wie gesagt, an summirte Zuckungen[2]). Es ist aber nicht leicht, an dem kleinen Object, über das ich verfügte, diese Fragen, denen eine grundsätzliche Bedeutung zukommt, zur Entscheidung zu bringen. Weitere Untersuchungen dürften hierüber bald Klarheit bringen.

Ich darf ferner nicht unerwähnt lassen, weil namentlich weder Morgen noch Schultz etwas Derartiges gesehen zu haben scheinen, dass ich nicht selten in Folge elektrischer Reizung auch Verlängerung, also Erschlaffung des Muskelringes feststellen

1) Archiv f. (Anatomie u.) Physiologie. Supplementband S. 111 (207). 1885.

2) Vgl. Biedermann, Elektrophysiologie Bd. I S. 99 und 101.

konnte. Bei Anwendung mittelstarker tetanisirender Inductionsströme (gewöhnlicher Inductionsapparat, ein Daniell, 5—6 cm Rollenabstand) ging der Zeiger oft erst mehrere Millimeter (3—6) herab, um sich dann um so kraftvoller zu erheben. Auch constante Ströme hatten mitunter ähnliche Erfolge. So konnte ich bei einigen Präparaten ausserordentlich oft hinter einander beobachten, dass z. B. absteigende Ströme (4 Daniell, 200 Siemens Nebenschluss) bei Schliessung eine geringe Verkürzung, bei Oeffnung dagegen eine deutliche Verlängerung, aufsteigende dagegen gerade den umgekehrten Erfolg hatten.

Es ist wiederum, auch wenn man natürlich an kathodische Zusammenziehungen und an anodische Erschlaffungen denkt, bei der Kleinheit des Organes nicht leicht, die Ursachen dieser Erscheinungen festzustellen. Am wahrscheinlichsten wird eben immer die verschiedene Wirkung der beiden Elektroden sein, die in ihren Grösse- und Lageverhältnissen ja nie vollkommen gleich sein dürften.

Was die Dauer des Abstieges bei obigen Versuchen anlangt, so ist darüber nicht viel zu sagen; er ist mit geringen, noch später zu beschreibenden Ausnahmen, stets länger als der Aufstieg und mag unter gewöhnlichen Verhältnissen 30—60 Secunden betragen.

Bekannt ist die verhältnissmässig geringe Wirkung einzelner Inductionsströme auf glatte Muskeln. Wenn man bei den quergestreiften gerade diese Ströme als die gewöhnlichen Reize annimmt und man unter einer Muskelcurve, als verstünde sich dieses ganz von selbst, eine durch einen Inductionsschlag erzeugte Zusammenziehung dieses Muskels betrachtet, so würde man bei dem glatten Muskel durch Reizung mit eben diesen Strömen zu ziemlich verkehrten und nicht zutreffenden Anschauungen gelangen.

Die „Zuckungscurve“ eines glatten Muskels, in Folge eines Oeffnungsinductionsschlages, ist sicher keine normale. Ich lasse hier einige Typen in Fig. 7 folgen, die bei Rollenabständen von 4 cm (1 Leclanché) mit einem mässig erregbaren Präparat gezeichnet wurden. Das Stadium der Latenz, sowie der Anstieg bieten nichts Bemerkenswerthes, wohl aber die ausserordentlich lange Dauer des Abstieges, der sich hier stets über mehrere Minuten (3—4 Minuten und länger) erstreckt. Offenbar wird durch den starken und schnellen Stoss des Inductionsschlages der Muskel zwar gereizt, aber doch

auch zugleich geschädigt, so dass er wie ein ermüdeter quergestreifter Muskel in eine gewisse andauernde Starre oder Steifigkeit geräth, die seine Wiederverlängerung hintanhält.

Ganz unwirksam erwiesen sich mir Schliessungsinductionsschläge bei den gewöhnlich angewendeten Stromstärken. Weiter als bis zur Anwendung von 1 Grove und der Uebereinanderschiebung der Rollen bin ich allerdings nicht gegangen.

Ungemein wirksam sind dagegen die Ströme der Stöhrer'schen Maschine. Es war eine Einrichtung getroffen, dass man einen etwa $1/4$ Secunde dauernden Strom[1]) durch Vorbeischiessen der Spulen an dem Magneten abfangen und zur Reizung verwenden konnte. Die so erhaltenen Curven (Fig. 8, a, b und c) hatten nun

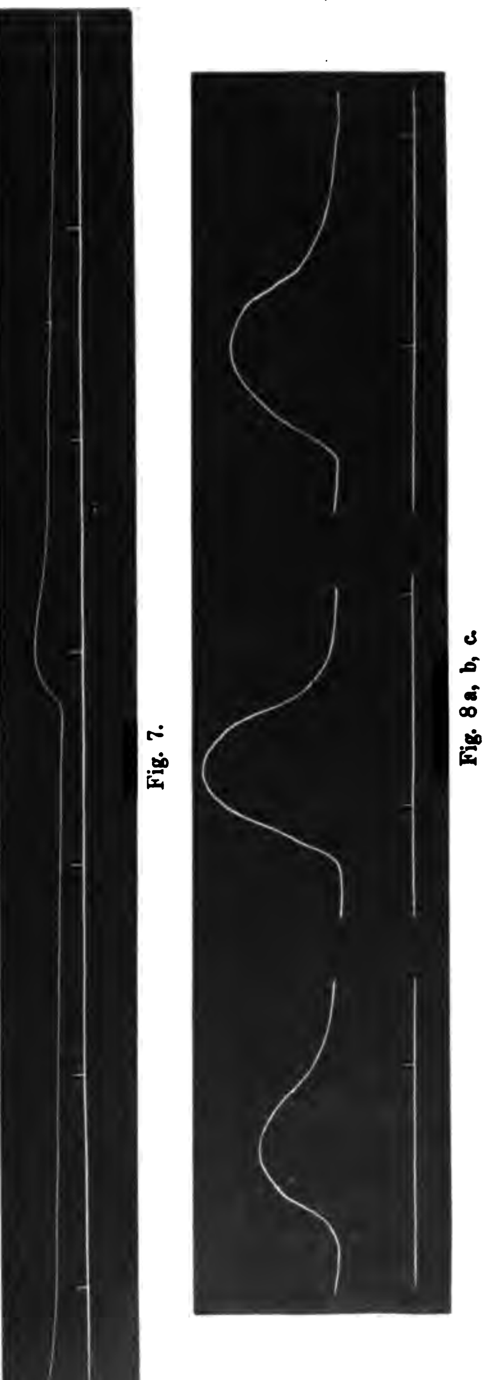


Fig. 7.

Fig. 8 a, b, c.

1) Vgl. Grützner, Ueber die Reizwirkungen der Stöhrer'schen Maschine u. s. w. Pflüger's Archiv Bd. 61 S. 256, 1887, und die Selbstaufzeichnung elektr. Ströme u. s. w. von demselben. Elektro-chemische Zeitschrift 4. Jahrg. S. 97. 1897.

verhältnissmässig sehr kurz dauernde Abstiege. Der An- und Abstieg war bei ihnen nahezu gleich lang. Sie waren somit wesentlich verschieden von den Contractionscurven, welche andere, namentlich Oeffnungsinductionsströme lieferten.

Zum Schluss seien nun noch die Erfolge **tetanisirender Inductionsströme**, also der gewöhnlichen Wechselströme eines



Fig. 9 a. Tetanisirende Reizung eine Secunde.

Inductionsapparates mit schwingendem Hammer erwähnt. Schickt man diese in bedeutender Stärke (1 Daniell oder Leclanché, Rollenabstand 5—7 cm) etwa eine Secunde lang durch den Muskelring, so zieht er sich in der Regel sehr schnell und sehr bedeutend zusammen, wie aus beifolgenden Versuchsbeispielen hervorgeht. (Siehe Fig. 9, a und b, Fig. 10, a, b und c, von denen 9 a durch einen gewöhnlichen Schlittenapparat, 9 b dagegen durch schwache Wechselströme einer **Stöhrer'schen** Maschine zu Stande kamen. Die Reizdauer betrug in beiden Fällen eine Secunde. Ueber Fig. 10 a, b und c, die durch einen Schlittenapparat erzeugt worden sind, siehe weiter unten.) Auch das Stadium der Latenz ist ausserordentlich kurz und beträgt 1—1,5 Secunden und weniger. Der Abstieg der Curven pflegt sich über mehrere Minuten hin auszudehnen; ja sehr oft bleibt der Muskel andauernd verkürzt.



Fig. 9 b. Tetanisirende Reizung eine Secunde.

Die Gestalt dieser Curve weicht, wie man sieht, ziemlich

bedeutend von einer gewöhnlichen, nur durch einen einmaligen, möglichst milden Reiz erzeugten ab (siehe Fig. 8), und es liegt nahe, anzunehmen, dass alle diejenigen Curven, welche sich dieser Tetanuscurve nähern, d. h. kurze Anstiege und lange Abstiege haben, auch durch eine Folge von Reizen erzeugt worden sind, also auch Tetanuscurven darstellen. Dies gilt sicher auch von der oben erwähnten Sertoli'schen Normalcurve, die ja auch durch tetanische Reizung zu Stande gekommen ist.

Herr Prof. Grützner ist demnach der Ansicht, dass die Zusammenziehungscurve des glatten Muskels aller Wahrscheinlichkeit nach den Curven der Fig. 1, b bezw. Fig. 8 gleicht, und dass alle diejenigen Curven, in denen der Abstieg so ausserordentlich viel länger dauert als der Anstieg, wie z. B. in Fig. 2, entweder Tetanuscurven sind, d. h. durch eine Reihe von Reizanstössen erzeugt worden sind oder wie wohl bei den Curven, die durch einen einzigen Inductionsstrom des gewöhnlichen Schlittenapparates zu Stande kommen, auf einer Schädigung des Muskels, auf einer gewissen Erstarrung desselben beruhen. Die oben erwähnten Reizstösse können dabei eben sowohl dem Muskel unmittelbar zugeführt werden, wie es bei der Tetanisirung geschieht, als auch in ihm so zu sagen spontan ausgelöst werden. Und so wie kein Mensch eine Reihe rhythmisch auf einander folgender Zuckungen eines quergestreiften Muskels als eine Zuckung auffassen wird, so darf man dieses auch nicht thun bei einem glatten Muskel, der in viel höherem Maasse als der quergestreifte durch einen einzigen Anstoss in eine lange Reihe aufeinanderfolgender Erregungen versetzt werden kann, einer Saite



Fig. 10a, b und c.

vergleichbar, die in Folge eines einzigen Anstosses noch lange nachschwingt[1]).

Diese Erregungen können nun offenbar sowohl an Stärke, wie an Zahl Verschiedenheiten aufweisen. Sind sie verhältnissmässig stark und selten, so haben wir eine Reihe von Pulsationen (s. Fig. 1b und Fig. 6) bei dem glatten, oder von einzelnen Zuckungen bei dem quergestreiften Muskel (s. Biedermann, Elektrophysiologie Bd. 1 S. 168) vor uns. Erfolgen sie aber häufiger hintereinander, so bleibt der Muskel dauernd zusammengezogen, wir haben einen Tetanus oder, wie es wohl häufiger genannt wird, eine Dauercontraction vor uns.

Denn wie sollte nach Allem, was wir wissen, eine Dauercontraction anders zu Stande kommen, als durch eine Reihe von Anstössen, die wir zwar nicht alle von aussen in den Muskel hineingebracht, wohl aber durch einen einzigen Anstoss ausgelöst haben? Wenn in Folge eines einzigen Reizanstosses, der einen motorischen Nerven trifft, der zugehörige Muskel in eine Dauercontraction oder einen Tetanus geräth, wie dies bei Schliessungs- oder Oeffnungstetanus der Fall ist, so zweifelt wohl Niemand daran, dass von dem in einem besonderen Zustande der Erregbarkeit befindlichen Nerven eine ganze Reihe von Anstössen ausgehen. Sollte es beim Muskel anders sein? Das ist von vornherein nicht wahrscheinlich, und alle oben mitgetheilten Thatsachen sprechen dafür, dass es hier ebenso ist.

Wenn man nun an einem quergestreiften Muskel eine Zuckung von einer Dauercontraction sehr leicht unterscheiden kann, so kann man dies nach unserer Meinung noch lange nicht an einem glatten Muskel[2]). Möglicher Weise sind eben alle jene sogenannten Zuckungscurven glatter Muskeln, die einen langen Abstieg haben, wie schon erwähnt, tetanische oder Dauercontractionen, also nach unserer Auffassung durch eine Reihe von „inneren" Anstössen erzeugt[3]).

---

1) Dieses Nachzittern in Folge eines einzigen Anstosses kann übrigens beim quergestreiften Muskel durch Nervenwirkung beseitigt werden, worüber ich nächstens Mittheilung machen werde. Grützner.

2) Auch Fick stellt in seiner obengenannten Arbeit (S. 36) sinnreiche Betrachtungen und Versuche darüber an, worin der wesentliche Unterschied zwischen einer durch einen elektrischen Strom erzeugten Zuckung eines quergestreiften Muskels und einer darauffolgenden Dauercontraction besteht. Für das Zustandekommen der ersteren ist nach ihm das Nervensystem nöthig. Ich will mich auf diese Frage hier nicht näher einlassen, die in neuerer Zeit auch von anderer Seite beleuchtet worden ist. (S. Biedermann, Elektrophysiologie Bd. 1 S. 166.)

3) Hiernach würde es sich vielleicht empfehlen, das Wort „Zuckung" auch

Ist dies aber der Fall, so ist es wohl noch verfrüht, mit den glatten Muskeln des Magens allgemeine Fragen über ihre Spannung und Verkürzung bei einer sogenannten „Zuckung“ lösen zu wollen. Zu welchen Ergebnissen käme man wohl bei einem quergestreiften Muskel, der durch ein und denselben Reiz je nach dem Grade seiner Erregbarkeit bald in Zuckung, bald in Tetanus geriethe, und bei dem man jene beiden Zustände nicht mit Sicherheit von einander unterscheiden könnte?

Wir kennen also noch nicht mit Sicherheit die „Zuckungscurve“ des glatten Muskels. Aller Wahrscheinlichkeit ist sie der des quergestreiften Muskels ziemlich ähnlich und ihr Abstieg dauert ungefähr eben so lange, wie ihr Anstieg (s. Fig. 1 b und 8).

Die Sache wird aber noch verwickelter, wenn wir uns daran erinnern, dass nach den interessanten und aufklärenden Untersuchungen Biedermann's[1]) und seiner Schüler bei elektrischer Durchströmung eines Muskels diejenige Stelle desselben, welche von der Kathode berührt wird, sich andauernd zusammenzieht, während die von der Anode berührte erschlafft (wenn wie gewöhnlich bei glatten Muskeln Tonus vorhanden ist), ihre Umgebung dagegen in starke andauernde Zusammenziehung geräth, und wenigstens beim quergestreiften Muskel diesen örtlichen Dauerzusammenziehungen eine über den ganzen Muskel sich ausbreitende schnelle Zuckung vorausgehen kann. Wenn nun alle diese Vorgänge oder wenigstens ein Theil derselben sich auch bei elektrischer Reizung des Magenringes in diesem abspielt und, wie leicht begreiflich, jeder in verschiedener Stärke, so versteht man, wie schwer es ist, eine typische Zuckungscurve eines glatten Muskels zu zeichnen und wie verschieden dieselben ausfallen müssen, etwa vergleichbar denjenigen, welche man unter gleichen Bedingungen von einem quergestreiften Muskel erhält. Wollte man nun aber, wie bei diesem Muskel, einen

---

für den glatten Muskel beizubehalten, obwohl man mit Sicherheit noch keine Zuckungscurve desselben kennt und natürlich von einer Zuckung, d. h. einer schnellen Zusammenziehung bei einem glatten Muskel ja keine Rede ist. Wenn aber wirklich die Curven in Fig. 1 b und 8 a, b u. c den Zuckungscurven eines quergestreiften Muskels entsprechen, die andern dagegen Schliessungsdauercontractionen sind, so müssen wir für diese beiden verschiedenen Vorgänge auch verschiedene Namen haben. Grützner.

1) Pflüger's Archiv Bd. 45 S. 369, 1889; Bd. 46 S. 367 u. S. 398, 1890 u. Bd. 47 S. 243, 1890.

Inductionsschlag zur Erzeugung einer „Zuckungscurve" benutzen, so würde eben der glatte Muskel so geschädigt, dass an eine normale Zusammenziehung erst recht nicht zu denken ist.

Ich komme schliesslich noch zu der Wirkung tetanisirender Inductionsströme, welche man längere Zeit durch den Muskel schickt. Verwendet man z. B. einen gewöhnlichen Inductionsapparat mit einem Leclanché bei 5—7 cm Rollenabstand, dessen Wechselströme man beziehungsweise 1, 10 und 20 Secunden durch den Ring schiebt, so erhält man Curven, welche in Fig. 10 a, b u. c (S. 383) wiedergegeben sind und die, abgesehen von Ermüdungseinflüssen wie in Fig. 10 c, um so steiler ansteigen, je länger der Reiz dauerte.

Wird nun aber die tetanisirende Reizung verlängert, so pflegt (was aber auch schon bei ganz kurz dauernder Reizung stattfinden kann, s. Fig. 9 a u. b) ein Tetanus einzutreten. Der Muskel bleibt dauernd, wie die Fig. 11 a u. b zeigen, ziemlich lange verkürzt. Er lässt zwar allmälig in dieser Verkürzung nach, viel schneller jedoch, wenn der Reiz (wie bei *Ö*) ganz aufhört. Oft sieht man hier noch mehr oder weniger deutlich eine Art Oeffnungserregung (s. Fig. 11 b), die vielfach nach den Wechselströmen der Stöhrer'schen Maschine besonders auffällig war. Allerdings mussten dieselben, wie auch diejenigen des Schlittenapparates über eine Minute durch den Muskel geschickt werden. Es ist dies um so merkwürdiger, als es sich hier nicht, wie bei ähnlichen Versuchen von Fick, um schnell auf einander folgende gleichgerichtete, sondern

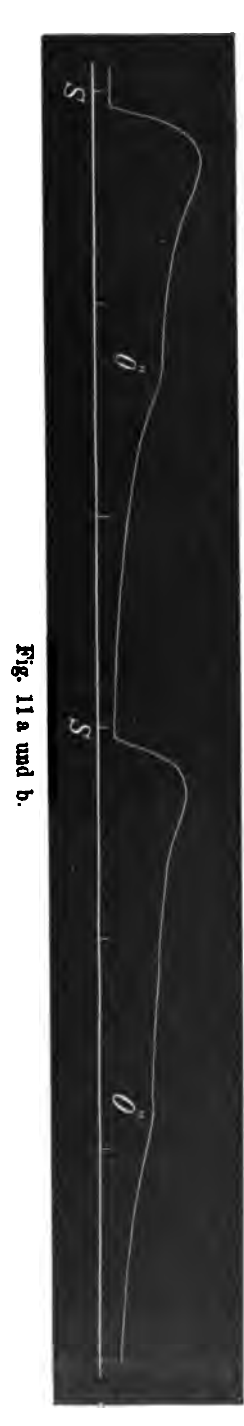


Fig. 11 a und b.

um Wechselströme handelte, von denen der eine allerdings nach den Untersuchungen von Grützner stärker polarisirend wirkt, als der andere [1]).

Nicht ohne Interesse ist endlich das Stadium der Latenz bei Reizung mit elektrischen Strömen. Da es sich um ziemlich grosse Zeiten handelte, wurden die Versuche in folgender Weise angestellt. Der Zeichenhebel lag an der stillstehenden Walze. In einem bestimmten Augenblick wurde der Strom geschlossen und dann der Beginn der Hebung — wenn nöthig mit einer Lupe — beobachtet und angezeigt. Es lässt sich auf diese einfache Art sehr genau — jedenfalls vollkommen genau genug für unsere Zwecke — das Stadium der Latenz bestimmen. Auch wurde in gleicher Art die Dauer des An- und Abstieges notirt und bei der Oeffnung des Stromes in gleicher Weise verfahren wie bei der Schliessung.

Die Ergebnisse einer grossen Anzahl derartiger Versuche sind kurz folgende. Das Stadium der Latenz schwankte zwischen 2 bis 10 Secunden, nur sehr selten wurden diese Grenzen nach oben und nach unten überschritten. Dabei ergab sich fast durchweg, dass zu den grösseren Latenzen die kleineren Zusammenziehungen und zu den kleineren Latenzen die grösseren Zusammenziehungen gehörten, womit natürlich nicht gesagt ist, dass den gleichen Latenzen auch immer die gleichen Zusammenziehungen entsprechen. Diese Angabe deckt sich also zum Theil mit derjenigen von Ranvier, dass stärkere Ströme, welche ja in der Regel auch stärkere Zusammenziehungen zur Folge haben, die kürzeren Latenzen aufweisen.

Es mag ein Versuch als Beispiel angeführt sein.

Versuch, den 4. December.

Weiblicher Grasfrosch, getödtet 2 Uhr 40 Min.; Ring aus der Gegend des Pylorus mit Schleimhaut zeigt lange Zeit spontane Contractionen. Verwendet werden 4 kleine Daniell mit dem nöthigen Nebenschluss und gewöhnliche Platinelektroden. Die Reizung dauert immer eine Minute lang, zwischendurch meistens eine oder mehrere Minuten Pause.

Nach 10 Reizungen ergaben sich folgende Latenzen:

---

1) Siehe Anmerkung S. 381.

Versuchs-nummer	Zeit (Stde.)	Strom-richtung	Stromstärke 4 Daniell Neben-schluss in Siemens-Einheiten	Reiz-dauer in Se-cunden	Latenzdauer in Secunden	Hubhöhe am Hebel in mm	Bemerkungen
11	3,20	↑ S.	100	60	8	0,5	
		O.	—	—	3	1,8	
12	3,22	↑ S.	50	60	9	0,5	
		O.	—	—	4	2,25	
13	3,25	↑ S.	—	60	10	0,3	3 Uhr 30 Min. Magenring mit NaCl 0,6 % bepinselt.
		O.	—	—	8	0,6	
14	3,31	↓ S.	50	60	3	4,0	
		O.	—	—	13	Eben merklich.	
15	3,32	↑ S.	—	60	5	0,5	
		O.	—	—	4	0,9	
16	3,35	↑ S.	100	60	7	1,3	
		O.	—	—	4,5	1,4	
17	3,37	↓ S.	100	60	2	5,0	
		O.	—	—	7	1,2	
18	3,39	↓ S.	50	60	5	0,75	
		O.	—	—	5	0,5	
19	3,42	↓ S.	100	60	3	4,2	
		O.	—	—	4	1,3	
20	3,45	↓ S.	150	60	2	4,2	
		O.	—	—	3	1,2	
21	3,47	↓ S.	200	60	1,5	4,3	
		O.	—	—	4	4	
22	3,49	↓ S.	100	60	5	0,8	
		O.	—	—	3	2,6	
23	3,54	↓ S.	100	60	1,75	3	
		O.	—	—	8,5	1,2	
24	3,55	↓ S.	100	60	2	3	
		O.	—	—	4	1	
25	3,57	↓ S.	50	60	5	0,6	
		O.	—	—	6	0,6	
26	4,00	↓ S.	100	60	4	2,2	
		O.	—	—	5	0,9	
27	4,02	↓ S.	200	60	2,5	4,2	
		O.	—	—	3	2	
28	4,04	↑ S.	50	60	10	Eben merklich.	
		O.	—	—	5	0,4	
29	4,06	↑ S.	100	60	7	1,2	
		O.	—	—	6	1,1	
30	4,08	↑ S.	200	60	3	2,3	
		O.	—	—	2,5	2,3	
31	4,11	↑ S.	100	60	4	0,7	
		O.	—	—	3	1,1	
32	4,15	↑ S.	50	60	6,5	0,9	
		O.	—	—	13	0,2	
33	4,17	↑ S.	200	60	2	2,5	
		O.	—	—	2	2,6	

Aus diesen Versuchen, die ich noch beliebig vermehren könnte, geht also hervor, dass unter sonst gleichen Bedingungen den langen Latenzen die kleinen Hubhöhen entsprechen und umgekehrt. Durchaus dieselben Gesetzlichkeiten walten auch ob an dem von seiner Schleimhaut befreiten Ring, wofür folgender Versuch zum Beispiel diene.

Versuch, den 30. December.

Grosser männlicher Grasfrosch, getödtet um 11 Uhr. Magen mit bräunlichen, schleimigen Massen gefüllt, ziemlich schlaff. Ring nahe der Pylorusgegend entnommen. 11 Uhr 20 Min. im Myographion aufgehängt, unpolarisirbare Elektroden. Vielfach spontane Zusammenziehungen, welche namentlich im Anfang die Beobachtung erschweren. Sehr erregbares Präparat, das nach 46 oft nur ein Paar Secunden lang dauernden, aber stets wirksamen Reizungen mit zum Theil sehr schwachen Strömen (2 Daniell 5—10 S. E. um Nebenschluss) folgendes Verhalten zeigt (siehe die Tabelle auf S. 390).

Dieser Versuch ist in mancher Beziehung lehrreich. Zunächst zeigt er, was die Latenzdauer anlangt, das oben ausgesprochene Gesetz und ergibt ausserdem in merkwürdiger Weise die viel stärkere Wirkung des aufsteigenden Stromes, eine Thatsache, die ich ausserordentlich häufig beobachtet habe, und die wohl an der verschiedenen Wirkung der beiden Elektroden liegt, welche man, namentlich für ein so kleines Object, nie vollkommen gleich machen kann. Im vorliegenden Fall ist also immer die obere Elektrode die wirksamere gewesen. Nur ausnahmsweise sah ich das umgekehrte Verhalten an anderen Präparaten.

Die längere Latenz bei Reizung mit absteigenden Strömen dürfte ausserdem wohl durch eine gleichzeitig erfolgende anodische Erschlaffung bedingt sein, die bei mässigen Reizströmen das nur sehr allmälige Ansteigen (s. Fig. 5), beziehungsweise die lange Latenz und bei schwachen Strömen (s. Nr. 77 und 79) geradezu eine Dehnung des Muskels und eine Senkung des Zeichenhebels zur Folge hat; denn der Magenring ist selten ohne jeglichen Tonus.

Wie ausserordentlich stark tetanisirende Inductionsströme des gewöhnlichen Schlittenapparates wirken, zeigt Nr. 82, von dem eine Curve gezeichnet wurde (s. Fig. 9a). Sie steigt jäh und hoch (26 mm) empor.

Aber der Muskel ist ein für allemal geschädigt, wie die folgenden Versuche, Nr. 83—85, erweisen. Er verharrt in einer gewissen Starre und antwortet selbst starken, eben noch wirksamen Reizen schwach oder gar nicht mehr.

Versuchs-nummer	Zeit (Stde.)	Stromrichtung (Schliessung)	Stromstärke 2 Daniell Nebenschluss in Siemens-Einheiten	Reizdauer in Secunden	Latenzdauer in Secunden	Hubhöhe am Hebel in mm	Bemerkungen
47	2,20	↓	20	30	6,5	1,2	
48	2,23	↑	—	—	4,5	5,0	
49	2,25	↓	—	—	6	1,8	
50	2,28	↑	—	—	4,5	5	
51	2,30	↓	15	—	5,5	1,7	
52	2,32	↑	—	—	4,5	5	
53	2,34	↓	—	—	7	1,5	
54	2,36	↑	—	—	fast 4	5	
55	2,40	↓	10	—	8	1	
56	2,41	↑	—	—	4	2,9	
57	2,43	↓	—	—	9	0,9	
58	2,46	↑	—	32	3,5	5	Spontane Bewegungen; stieg ein wenig gerade bei der Schliessung.
59	2,49	↓	20	30	5	2	
60	2,51	↑	—	—	4	7	
61	2,58	↓	—	—	6	1,3	
62	3,00	↑	—	—	5	5,6	Schwache spontane Zusammenziehung.
63	3,02	↓	30	—	7,5	1,5	
64	3,05	↑	—	—	4	6,5	Nach der Reizung spont. Zusammenziehung.
65	3,08	↓	—	—	5	1,7	
66	3,11	↑	—	—	3	6,1	Darauf spont. Zusammenziehung über 5 mm.
67	3,17	↓	60	—	?	3,0	Geringe spont. Bewegung.
68	—	↑	—	—	3,5	9,6	
69	—	↓	—	—	5,5	2	Geringe spont. Bewegung.
70	—	↑	—	—	3,5	9	
71	—	↓	—	—	4—5	2	Spontane Bewegung.
72	3,33	↑	100	—	4	10,4	
73	—	↓	—	—	5,6	2	Spontane Bewegung.
74	—	↑	—	—	3,5	9,5	
75	—	↓	—	—	5	2	Spontane Bewegung.
76	3,42	↑	10	—	7	3,5	
77	—	↓	—	—	—	—	Nach 16 Secunden eine Spur von Verlängerung.
78	—	↑	—	—	7,5	5	
79	—	↓	—	—	—	—	Senkung nach 9 Secunden.
82	3,56	Tetanisirende Inductionsströme, Rollenabstand 5 cm, 1 Leclanché.		1	0,9	26	Der Hebel sinkt ausserordentlich langsam (s. Fig. 9 a).
83	4,5	—	—	—	3	18	Muskel am Anf. der Reiz. noch nicht erschlafft.
84	4,10	—	—	—	3	10,5	Ebenso.
85	4,15	—	—	—	5	2	Ebenso.

Am allerkürzesten werden die Latenzen, wenn man den Muskel tetanisirt; dann gehen sie unter Umständen bis unter eine Secunde herab; gewöhnlich betragen sie 1—1,5 Secunden. Ein einzelner Inductionsschlag gab im Mittel 3 Secunden Latenz.

Es mag hier auf die durchaus ähnlichen Verhältnisse hingewiesen werden, welche nach den eingehenden Untersuchungen von Tigerstedt[1]) für den quergestreiften Muskel bestehen. „Wenn der nicht curarisirte Muskel durch verschieden starke Oeffnungsinductionsschläge gereizt wird, so nimmt bei abnehmender Zuckungshöhe die Latenzdauer stetig zu.“ Dasselbe gilt auch bei directer Reizung des curarisirten Muskels und, wie Bernstein kürzlich fand, auch des einzelnen Muskelelementes.

Tigerstedt zeigte ferner, dass die Latenz grösser ausfällt bei Reizung mit constanten Strömen (Schliessung), als bei solcher mit Inductionsströmen. Ganz Aehnliches gilt auch für den glatten Muskel, wenigstens, wenn man kurz dauernde tetanische Reize mit gleich lange (oder länger) dauernden constanten Strömen vergleicht.

Woher rührt nun diese ausserordentliche Verschiedenheit in den Latenzen? Zunächst wohl von der Ausbreitung und Fortpflanzung der Erregung. Denn nehmen wir z. B. an, 10 hinter einander gelegene glatte Muskelzellen wären im Stande, eine gerade sichtbare Zusammenziehung des ganzen Muskelringes zu Stande zu bringen, wenn sie sich ad maximum contrahirt hätten, so ist es klar, dass dann das Stadium der Latenz nahezu um das der steigenden Energie vermehrt, also ausserordentlich verlängert wird. Zögen sich 20 hinter einander gelegene Muskelzellen in gleicher Art zusammen, so würde das Stadium der Latenz etwa nur um die Hälfte desjenigen der steigenden Energie vermehrt, also viel kürzer als im ersten Fall werden. Und so fort. Ein je grösseres Stück des Muskels also auf einmal (oder innerhalb kürzerer Zeit in seinen einzelnen Elementen hinter einander) in Erregung geräth, in um so kürzerer Zeit muss sich die Zusammenziehung für uns bemerklich machen[2]).

Nun hat bereits Engelmann beobachtet, dass der durch elektrische Reizung am Ureter unter den Elektroden erzeugte Wulst

---

1) Archiv für (Anatomie und) Physiologie S. 111, 1885, Supplementband. Hierselbst findet sich auch die Literatur der Frage ausführlich zusammengestellt.

2) Aehnliche Betrachtungen sind — mutatis mutandis — auch schon von anderer Seite (vgl. Gad, Arch. f. Physiol. S. 250, 1897 und Tigerstedt, l. c. S. 255) gemacht worden.

um so grösser ist, d. h. um so mehr einzelne Elemente zugleich erfasst, je stärker der Reiz ist[1]). Es liegt also nahe, anzunehmen, dass mit der Stärke des Reizes auch in unserem Präparat die Zahl der gleichzeitig ergriffenen Elemente zunimmt, wodurch die Steilheit des Anstieges vermehrt und damit zugleich die Latenz verkürzt wird. Aus eben diesem Grunde haben auch vielfach die steil ansteigenden (tetanischen) Curven die allerkürzesten Latenzen.

Wenn aber ausserdem, was höchst wahrscheinlich ist, die Kraft der Zusammenziehung in dem einzelnen Element des glatten Muskels im Anfang ganz allmälig zunimmt und erst später schneller anwächst, wie dies kürzlich durch eine sinnreiche Methode Bernstein[2]) für das Element des quergestreiften Muskels gezeigt hat, so würde, auch wenn man den Vorgang der Zusammenziehung auf gleich viel Elemente (oder das einzelne Element) beschränkt und den stärkeren Reizen natürlich die stärkeren und steileren Zusammenziehungen zuschreibt, obiger Satz auch für das einzelne Muskelelement gelten und auch bei seinen Contractionen allein den stärkeren Reizen die kürzeren Latenzen entsprechen.

Dass schliesslich das Stadium der Latenz, sowie der ganze Verlauf der Zusammenziehung in hohem Maasse von der Temperatur abhängig ist, und alle Vorgänge mit steigender Wärme verkürzt werden, darüber habe ich nur gelegentliche Erfahrungen gemacht, aber keine besonderen Versuche angestellt. Genauere Angaben hierüber finden sich bei Schultz.

4) Die mechanische Reizung.

Der Magenring ist, wie Aehnliches auch Schultz erwähnt, ungemein leicht durch mechanische Anstösse zu erregen. Die Curven 12 und 13 sind hierfür Beispiele. In Fig. 12 wurde dreimal, bei a, b und c, ein leichter Schlag auf den Zeichenhebel gethan und dadurch der Muskel schnell gedehnt. Hierauf zog er sich je nach der Stärke des Schlages mehr oder weniger zusammen, so wie die Curven es zeigen. (In der mittleren Curve ist die scharfe Zacke selbstverständlich etwas Nebensächliches und durch einen zufälligen Anstoss an den Zeichenhebel erzeugt.)

1) Auch wenn es sich in unseren Versuchen um die Biedermann'schen anodischen Schliessungserregungen handelte (s. S. 385), was noch nicht festgestellt ist, so würde in dem Wesen der Sache Nichts geändert.

2) Pflüger's Archiv Bd. 67 S. 207. 1897.

Fig. 13 zeigt eine Reihe spontaner Pulsationen, die durch einen einzigen, ziemlich starken Schlag bei b (ein schwächerer bei a hatte ähnliche Wirkungen) erzeugt worden sind.

Hieraus folgt, dass durch einen einzigen mechanischen Anstoss eine Reihe von Erregungen ausgelöst werden können, und auch die „Schlagcurven" in Fig. 12 nicht einfachen Zuckungscurven zu entsprechen brauchen, sondern sehr wohl mehreren inneren Reizanstössen ihre Entstehung verdanken können.

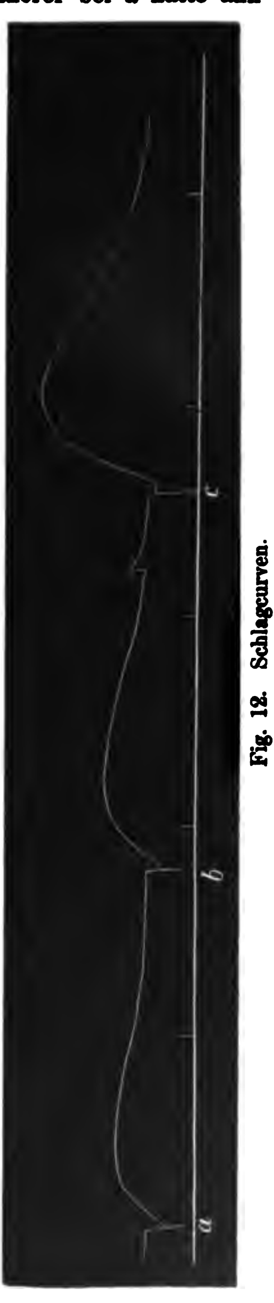


Fig. 12. Schlagcurven.



Fig. 13. Schlagcurven

5) Die Einwirkung einiger chemisch verwandter Stoffe auf den Muskelring.

Nachdem ich mich so über das Verhalten der Magenmuskulatur gegenüber elektrischen und mechanischen Reizen unterrichtet hatte, ging ich nun daran, zu untersuchen, wie verschiedene chemisch verwandte Stoffe auf die Erregbarkeit der glatten Muskulatur einwirkten.

Selbstverständlich musste man, um die Wirkungen dieser Stoffe mit einander vergleichen zu können[1]), gleiche chemische Mengen, also äquimolecurale Lösungen anwenden, wie dies Grützner[2]) für sensible und motorische Nerven und Blumenthal[3]) kürzlich für den quergestreiften Muskel gethan hat.

Hier wie dort wurden die betreffenden Organe in zweckmässiger Weise mit den entsprechenden Flüssigkeiten zusammengebracht, eine etwaige Reizwirkung derselben festgestellt und nach verschieden langer Wirkungsdauer des chemischen Agens die elektrische Erregbarkeit des Präparates mit constanten Strömen festgestellt.

Vorher sei kurz auf die ähnlichen Untersuchungen von Morgen und Schultz hingewiesen, die sich aber weniger auf die Veränderung der Erregbarkeit, als vielmehr auf die Erregung der Muskeln selbst beziehen[4]). Das Chloroform verursachte bei schleimhautfreien Muskeln (nach Morgen) eine langsam ansteigende Zusammenziehung, die dauernd auf gleicher Höhe blieb und in vollkommene Starre überging. Der Muskel wird dann (wie auch der quergestreifte) trübe, weisslich verfärbt und vollkommen unerregbar.

Befindet sich das Muskelstück in tonischer Verkürzung, so hat nach Schultz das Chloroform in erster Linie eine erschlaffende Wirkung. Der Muskel dehnt sich zunächst, indem das Chloroform auf die in Erregung befindlichen nervösen Elemente beruhigend einwirken soll.

Aether ist viel unschuldiger, als Chloroform, wirkt aber nach Morgen und Schultz unter gleichzeitiger Beruhigung der nervösen Elemente nur erschlaffend, gar nicht erregend oder zusammenziehend. Der Muskel behält sehr lange seine elektrische Erregbarkeit.

Ammoniak erregte den Muskel, welcher sich verkürzte. Sehr bald aber trat unter starker Verkürzung des Muskels sein Tod ein.

Alle diese Stoffe wurden in Gasform angewendet, was eine genaue Graduirung ihrer Wirkung ziemlich bedeutend erschwert. Aber auch flüssige Substanzen wurden von Morgen und Schultz verwendet, indem ersterer, was wohl die bessere Methode ist, die

---

1) Siehe Grützner, Deutsche med. Wochenschrift Nr. 52. 1893.

2) Pflüger's Archiv Bd. 53 S. 83, 1892 und Bd. 58 S. 69, 1894.

3) Ebenda Bd. 62 S. 513, 1896.

4) Siehe auch die S. 365 erwähnte Arbeit von Pellacani.

Muskeln in grössere Mengen von Flüssigkeiten versenkte, letzterer sie nur mit befeuchtetem Pinsel oder Glastab bestrich.

Säuren wirkten zunächst in schwächeren Verdünnungen (0,5—20 %) nicht erregend, in stärkeren Lösungen dagegen erlosch die Erregbarkeit sehr bald, und der Muskel starb in mässig erschlafftem Zustande ab, während z. B. der quergestreifte Muskel (Sartorius) durch 0,5 % Salzsäurelösung in Tetanus oder Starre übergeht.

Alkalien dagegen (z. B. Natronlauge von 1—5 %) bringen den Muskel zu starker Zusammenziehung. Der Muskel quillt glasig auf und dehnt sich dann bedeutend aus. Hierbei stirbt er ab.

Kochsalzlösungen von 2,5—5 % wirken mässig erregend. Der Ring stirbt in contrahirtem Zustande ab.

Bei meinen Versuchen verwendete ich den mittleren Abschnitt des Magens ohne Schleimhaut. Derselbe hing in den Platinhaken und wurde, nachdem seine elektrische Erregbarkeit festgestellt und ein paar Curven gezeichnet worden waren, mit einem breiten Streifen Watte umhüllt, welche mit der zu prüfenden Flüssigkeit vollkommen durchtränkt war. In dieser Umhüllung blieb er in der Regel 5 Minuten. Dann wurde der Wattestreifen entfernt, die Flüssigkeit mit Fliesspapier abgetupft und mit der elektrischen Reizung begonnen. Gewöhnlich blieb der Strom eine Minute geschlossen. Die aufgenommenen Curven liessen etwaige Veränderungen der Erregbarkeit — Steigerung oder Abnahme derselben — leicht erkennen. Hierauf wurde in der gleichen Weise fortgefahren, wieder die Watte aufgelegt, wieder gereizt und der Verlauf der Erscheinungen verzeichnet.

I. Die Wirkung der Haloidsalze des Natriums.

Zur Verwendung kamen $^1/_{10}$ und $^1/_{20}$ Normallösungen von Fluor-, Chlor-, Brom- und Jodnatrium. Anstatt die zahlreichen, einzelnen Curven wiederzugeben, will ich in ähnlicher Weise, wie es in der Arbeit von Blumenthal geschehen ist, die Aenderung der Erregbarkeit in einem einzigen (etwas schematisirten) Curvenzug darstellen[1]). Die Abcisse bezeichnet, wie üblich, die Zeit; die erste Ordinate über 0 die Höhe oder mittleren Höhen der Schliessungs- beziehungsweise Oeffnungerregung vor der Einwirkung des betreffen-

1) Da die Aenderungen der Erregbarkeit beim glatten und quergestreiften Muskel in oft ganz ähnlicher Art sich vollzogen, kann ich vielfach auf die Blumenthal'schen Curven verweisen.

den chemischen Stoffes, die späteren Ordinaten die Höhen der Zusammenziehung nach derselben.

Fluornatrium erwies sich, ähnlich wie bei anderen irritabeln Substanzen als starkes Gift. Eine anfängliche Steigerung der Erregbarkeit, wie sie z. B. an quergestreiften Muskeln und an Nerven in Erscheinung tritt, habe ich nicht beobachtet. Vielleicht ist sie mir entgangen. Vielfach zeigte sich schon nach etwa 10 Minuten langer Einwirkung, also bei der zweiten elektrischen Reizung, der Muskel völlig unerregbar. Die Gegend der Kathode und Anode sahen hin und wieder (bei Anwendung stärkerer gleichgerichteter Ströme) ganz verschieden aus. Erstere war weisslich trübe und nahm etwa die (untere) Hälfte des Ringes ein, die Anodengegend dagegen war mattweiss und halb durchsichtig [1]).

Chlornatrium in 1/10 Normallösung, sowie die gewöhnliche, nahezu ebenso starke „physiologische Kochsalzlösung“ ist keineswegs indifferent, sondern es gilt hier für den glatten Muskel nahezu dasselbe, was für den quergestreiften von Locke [2]) und Blumenthal gefunden worden ist. Diese Flüssigkeit erhöht die Erregbarkeit nicht unbedeutend. Sowohl Schliessungs- wie Oeffnungserregungen nehmen anfänglich an Grösse zu. Erst nach 20—30 Minuten sinkt die Erregbarkeit.



Fig. 14.

Bromnatrium ist dem Chlornatrium in seiner Wirkung einigermaassen ähnlich, erregt aber nur kurze Zeit und schädigt mässig schnell. Die Zusammenziehungen nehmen allmälig an Höhe ab.

Jodnatrium wirkt noch viel energischer. Die Abnahme der Erregbarkeit tritt innerhalb sehr kurzer Zeit ein, ähnlich wie bei dem Fluornatrium; doch konnte man nicht selten eine kurz dauernde anfängliche Steigerung beobachten. Bei länger dauernder Anwendung stärkerer Ströme schied sich an der Anode Jod aus in Form eines röthlich braunen Streifens. (Siehe Fig. 14, welche die Aenderungen der Erregbarkeit für die vier genannten Stoffe darstellt.)

1) Es standen mir damals, als ich diese chemischen Versuche anstellte, die oben erwähnten unpolarisirbaren Elektroden noch nicht zu Gebote.

2) Pflüger's Archiv Bd. 54 S. 501. 1893.

2. Die Wirkung von Kalium-, Rubidium- und Caesiumsalzen.

Sowie die Kalisalze den quergestreiften Muskel und den Nerven erheblich schädigen und sie in kurzer Zeit völlig unerregbar machen, so gilt das Gleiche für den glatten Muskel. Namentlich nehmen sowohl Schliessungs- als Oeffnungserregungen schon nach einigen Minuten bei Anwendung von $^1/_{20}$ Normallösungen von Chlorkalium schnell und bedeutend an Grösse ab und verschwinden bald ganz, wie die nebenstehenden Curvenzüge (s. Fig. 15 *KCl*) zeigen.

Nicht so stark schädigt das Chlorrubidium. Bei den späteren Reizversuchen schien die Muskulatur in eine Art von Starre überzugehen. Die Schliessungs- und Oeffnungscontractionen blieben längere Zeit auf gleicher Höhe und erst ganz allmälig trat starke Dehnung ein, welche in völlige Unerregbarkeit überging.

Chlorcäsium ist nicht so giftig, wie seine beiden nahen Verwandten, sondern es erhöht sogar anfänglich die Erregbarkeit ganz bedeutend. Die Höhen namentlich der Oeffnungserregungen nehmen nicht unbeträchtlich zu. Nach einigen Minuten tritt eine Abnahme ein, wie dies aus dem Curvenzug *CsCl* der Fig. 15 zu ersehen ist.



Fig. 15.

Während also bei den Haloidsalzen des Natriums, abgesehen von dem ja auch chemisch abseitsstehenden Fluornatrium, die Giftigkeit mit der Grösse des Molecüls vom Chlor zum Jod zunimmt, ist hier das Salz mit dem hohen Moleculargewicht verhältnissmässig am unschädlichsten. Ganz dasselbe konnte Blumenthal für den quergestreiften Muskel feststellen, so dass also hier eine vollkommene Aehnlichkeit besteht.

3. Die Wirkung der Salze der Erdalkalimetalle.

Sowie von dem Kalium-, Rubidium- und Cäsiumsalze, das mit dem höchsten Atomgewicht am wenigsten schädigte, sondern anfänglich sogar erregend wirkte, so gilt Aehnliches vom Chlorcalcium, Chlorstrontium und Chlorbaryum. Die Unterschiede sind nicht so bedeutend, es schädigen alle drei in $^1/_{20}$ Normallösungen, aber das Chlorbaryum zeigt doch nicht selten im Anfang eine geringe Steigerung der Erregbarkeit, wenigstens für die Oeffnungserregungen. Dieselben hielten bei Chlorstrontium und Chlorbaryum

oft merkwürdig lange an, während die Schliessungserregungen nach kurzer Zeit verschwunden waren.

4. Die Wirkung einiger Säuren und Basen.

Ich erwähne schliesslich noch die Wirkung einiger Säuren und Basen. In wie weit dieselben unmittelbar erregend wirken, d. h. den Muskel unter Zusammenziehung zum Absterben bringen, darüber haben Morgen und Schultz die nöthigen Mittheilungen gemacht. Mich interessirten weniger diese unmittelbar erregenden Wirkungen stärkerer Lösungen (Laugen), als die die Erregbarkeit verändernden viel schwächerer Lösungen.

Ich fand, dass sowohl Natron- wie namentlich Kalilauge in sehr starken Verdünnungen ($^1/_{160}$ normal in physiologischer Kochsalzlösung) binnen kürzester Zeit den Muskel abtödten. Eine kurz darauffolgende elektrische Reizung ist nahezu unwirksam. Die Schliessungserregungen, die allerdings auch schon vorher unbedeutend waren, verschwanden sofort; die anfangs starken Oeffnungserregungen hielten sich, wenn auch ausserordentlich abgeschwächt, noch einige Zeit.

Von Säuren untersuchte ich nur Essig- und Salzsäure in $^1/_{100}$ Normallösungen. Erstere wirkt anfänglich ein wenig erhöhend, erst später schädigend, letztere stark schädigend und bald tödtend, wie ganz Aehnliches von Blumenthal auch für den quergestreiften Muskel festgestellt wurde.

Soweit hiernach meine Beobachtungen reichen, findet zwischen den Einwirkungen gleicher chemischer Stoffe auf quergestreifte und glatte Muskeln eine ausserordentliche Aehnlichkeit statt. Die Erregbarkeit für nachfolgende elektrische Reize wird bei beiden Organen in ziemlich gleicher Weise beeinflusst, während, was hier nur nebenbei erwähnt sein mag, die unmittelbare Einwirkung stärkerer chemischer Agentien nach den Untersuchungen von Morgen bei glatten und quergestreiften Muskeln grosse Verschiedenheiten darbietet.

Es bleibt mir zum Schluss nur noch übrig, Herrn Professor Grützner, unter dessen Anleitung ich die obigen Untersuchungen anstellte, für seine vielfachen Bemühungen bei der Ausführung der Versuche, wie bei der Abfassung obiger Arbeit meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Rostock.)

Ueber die Gefässnerven der Herzwand.

Vorläufige Mittheilung.

Von

Paul Maass.

Auf Grund einer zu Anfang des vorigen Jahres von der hiesigen medicinischen Facultät gestellten Preisaufgabe bin ich der noch offenen, von den wenigen Bearbeitern widersprechend beantworteten Frage nach der Existenz und der Bahn der die Kranzgefässe des Herzens versorgenden Nerven näher getreten.

Die Untersuchungen wurden am überlebenden Katzenherzen angestellt, dessen Coronargefässe mit Kochsalzlösung verdünntes, normal temperirtes Blut unter streng gleichmässigem Druck durchfloss. Zur Auffindung vasomotorischer Erfolge der von mir vorgenommenen Nervenreizungen wurde die Ausflussgeschwindigkeit des aus den Kranzvenen abfliessenden Blutes gemessen, und zwar in der Weise, dass die Tropfenzahl durch ein elektrisches Zählwerk bestimmt wurde.

Auf diese Weise habe ich ermittelt, dass

1) der N. Vagus verengernde Fasern für die Gefässe der Herzwand führt, daneben in ihm sich aber auch Gefässerweiterer, wenn auch in geringerer Menge und nicht regelmässig, nachweisen lassen;

2) Dilatatoren der Kranzgefässe, wahrscheinlich aus dem Rückenmark stammend, das Gangl. stellatum passiren und von dort durch die ansa subclavia (Vieusseni) theils über das untere sympathische Halsganglion, theils auf directerem Wege zum Herzen gelangen.

Die Gefässverengerer schlagen somit den Weg der herzhemmenden, die Erweiterer den der herzbeschleunigenden Fasern ein. Es lässt sich indessen nachweisen, dass der Einfluss der Reizung dieser

Nerven auf die Stromgeschwindigkeit auch unabhängig von Rhythmusveränderungen sich geltend macht.

Es ist nicht unwahrscheinlich, dass die den Herzschlag verstärkende und abschwächende Wirkung, welche die Reizung gewisser Herznerven hat, beim Säugethierherzen auf der Erregung gefässverengernder und gefässerweiternder Fasern beruht — eine Auffassung, die bereits von Pawlow, Wooldridge sowie von Roy und Adami discutirt worden ist.

H. Newell Martin glaubte im N. vagus Gefässerweiterer für die Herzwand gefunden zu haben. Im Gegensatz dazu hat vor Kurzem Porter, der sich einer der meinigen ähnlichen Methode bediente, die Angabe gemacht, dass der Vagus verengernde Fasern für die Coronargefässe führt; in einem Falle sah er jedoch der durch Vagusreizung herbeigeführten Verringerung des Blutausflusses aus den Kranzgefässen noch während der Reizung eine Strombeschleunigung folgen, die auf das gleichzeitige Vorhandensein von dilatirenden Fasern hindeutet. Mit seinen Beobachtungen stehen somit die meinigen in gutem Einklang.

Die ausführliche Mittheilung meiner von der Rostocker medicinischen Facultät preisgekrönten Arbeit wird später erfolgen.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Rostock.)

Zur Kenntniss der sensiblen Leitungsbahnen im Rückenmark.

Von

O. Langendorff.

(Mit 2 Textfiguren.)

Nach der Angabe der Anatomen, wie Koelliker[1]), Edinger[2]), Lenhossék[3]), schlagen die hinteren Rückenmarkswurzeln nach ihrem Eintritt in's Rückenmark verschiedene Bahnen ein; ein Theil der Fasern gelangt in die graue Substanz, um hier in der Nähe von Nervenzellen in ihre Endausbreitung zu zerfallen, ein anderer Theil steigt in den Hintersträngen direct in die Höhe und endet, auf seinem Wege nur durch Kollateralen mit der grauen Substanz sich verbindend, erst an den Zellen der Kerne des zarten Stranges und des Keilstranges. Aus den Zellen der Vorder- und Hinterhörner, sowie der Stilling-Clarke'schen Säulen, um welche die eintretenden Wurzelfasern sich aufsplittern, sollen secundäre aufsteigende Bahnen hervorgehen (s. Edinger, a. a. O. S. 161).

Ueber die Menge der direct hirnwärts ziehenden Fasern sind die Ansichten verschieden; Koelliker (a. a. O. S. 117) meint, dass ein bedeutender Theil der sensiblen Wurzeläste lange Bahnen darstelle, während Andere die Menge derselben nur für gering zu halten scheinen.

Die anatomische und entwicklungsgeschichtliche Untersuchung hat eine wesentliche Unterstützung erhalten durch die Beobachtungen über die secundäre Degeneration nach experimenteller Durchschneidung der Hinterwurzeln[4–6]). Entscheidend sind in dieser Beziehung die Experimente von Singer (a. a. O. S. 403 ff.), der bis in das Kopfmark hinein degenerirte Faserbündel in den Hinter-

strängen nachweisen konnte, wenn er die Dorsalwurzeln im Gebiete des Lenden- und theilweise auch des Sacralmarkes vorher durchtrennt hatte. Damit ist die Existenz einer directen Verbindung von Hinterwurzeln und Medulla oblongata sicher bewiesen. Allerdings ist nach Singer (a. a. O. S. 410) die Menge dieser directen Fasern nur klein. Seine Angaben beziehen sich übrigens auf den Hund.

Die physiologische Bedeutung dieser direct aufsteigenden Fasern wird von Manchen darin gesehen, dass sie die bewusste Empfindung vermitteln. Nach Koelliker (a. a. O. S. 116) kommen die bewussten Empfindungen „unzweifelhaft durch dorsale Wurzelfasern zu Stande, welche in den Dorsalsträngen zur Medulla oblongata aufsteigen". Ihre Collateralen würden den Reflexen dienen. Aehnlich spricht sich Waldeyer[7]) aus. Auch Lenhossék (a. a. O. S. 401) sagt: „Die bis in das verlängerte Mark hinaufreichenden Hinterwurzelfasern vermitteln offenbar, neben ihrer auf die motorischen Kerne des Rautenhirns einwirkenden reflectorischen Thätigkeit, die Fortpflanzung der Sensibilität nach den Herden bewusster Empfindung in der Hirnrinde hin."

Im Widerspruch zu dieser Auffassung stehen indessen gewisse Erfahrungen, die von einer Reihe von Forschern bei Gelegenheit von Experimenten gewonnen worden sind, die an den altberühmten Stenson'schen Versuch anknüpfen. Bekanntlich führt die Unterbindung der Bauchaorta beim Kaninchen zu einer schnellen Lähmung der Beweglichkeit und Empfindlichkeit des Hinterkörpers. Dass an der motorischen Paralyse in erster Linie nicht der peripherische Nerv-Muskelapparat, sondern die graue Substanz des Rückenmarks Schuld ist, hat, wie man weiss, Schiffer[8]) dargethan. Für den Empfindlichkeitsverlust, dessen Vorhandensein ausser Schiffer auch Ehrlich und Brieger[9]), Fredericq[10]), Colson[11]), Singer[12]), Münzer und Wiener[13]) u. A. festgestellt haben, und von dem man sich schon wenige Minuten nach der Unterbindung überzeugen kann (bei Hunden tritt er nach Colson im Mittel nach 3′ 42″ ein), ist die Erklärung nicht ohne Schwierigkeiten. Von den motorischen Bahnen weiss man, dass sie im Rückenmark durch Nervenzellen unterbrochen sind. Da diese gegen die Anämie sehr empfindlich sind, so erklärt sich leicht die Leitungsunterbrechung. Besteht dagegen die oben angeführte Ansicht von der directen Leitung der Empfindungsimpulse durch die Hinterstränge bis zum Kopfmark zu

Recht, so ist nicht verständlich, wie nach einer im Wesentlichen nur das Lendenmark betreffenden Blutabsperrung ein so rapider, bei längerer Dauer der Sperre sogar irreparabler Sensibilitätsverlust eintreten soll. Denn darin wird man Vulpian[14]) und Anderen beistimmen müssen, dass, so empfindlich gegen die Abschneidung der Blutzufuhr die graue Substanz des Centralnervensystems sich erweist, so wenig empfindlich dagegen die weisse Faserung ist. Es ist allerdings zuzugeben, dass directe Beweise für diese Annahme bis jetzt nicht vorliegen; aber aus mancherlei Gründen ist ihre Richtigkeit ungemein wahrscheinlich. Es sei nur daran erinnert, dass die normale Blutversorgung, wie man an jedem Injectionspräparat sehen kann, bei der grauen Substanz in Hirn und Rückenmark viel reichlicher ist als in der weissen. Dies lässt auf grosse Verschiedenheit der Stoffwechselvorgänge schliessen. Wo aber der Stoffumsatz ein regerer ist, dort wird die Widerstandskraft gegen Absperrung des Blutstromes geringer sein müssen. Die Grosshirnrinde besteht nach Pflüger[15]) aus der zersetzbarsten Art lebendiger Materie. Nach meinen Beobachtungen[16]) reagirt sie im Leben alkalisch, aber schon 2—4 Minuten nach Absperrung des Kopfarterienblutes deutlich sauer; die weisse Hirnmasse bleibt auch nach dem Tode alkalisch*). Dass auch gegen Ueberhitzung die graue Substanz des Rückenmarkes nur wenig, die weisse dagegen in hohem Maasse widerstandsfähig ist, hat Luchsinger[17]) bewiesen. Wir werden Sigm. Mayer[18]) beipflichten müssen, der die weisse Rückenmarksfaserung den peripherischen Nerven parallelisirt, wenn wir auch seinen aus den Ergebnissen kurzdauernder Compression der Brustaorta für das Verhalten der vasomotorischen Leitungsbahnen gezogenen Schlüssen nicht zustimmen können.

Setzen wir eine ungleich höhere Widerstandsfähigkeit der weissen

*) Meine Beobachtungen über die schnelle Säuerung der Hirnrinde sind in den Jahren 1882—1885 angestellt und a. a. O. veröffentlicht worden, ohne dass ich mich des einschlägigen Versuchs von Pflüger aus dem Jahre 1875 (a. a. O.) erinnerte. Das Ergebniss meiner an zahlreichen Thieren angestellten Prüfungen stimmt mit dem des Pflüger'schen Experimentes, soweit die Rinde in Betracht kommt, völlig überein. Die weisse Substanz muss man, um ihre auch nach dem Tode alkalisch bleibende Reaction zu erkennen, wie Gscheidlen (dieses Archiv Bd. 8 S. 171), am Gehirn grosser Säugethiere untersuchen, da sie bei kleinen, anscheinend durch Diffusion von der grauen Substanz her, leicht sauer wird.

Rückenmarkssubstanz gegen die Absperrung des Blutstroms im Gegensatz zur grauen Substanz als bewiesen voraus, so besteht ein Widerspruch zwischen dem Einfluss der Aortenschliessung auf die Empfindungsleitung und den oben erwähnten, aus dem directen Aufstieg sensibler Bahnen in den Hintersträngen gezogenen Schlüssen.

So gelangt denn auch Singer (Bd. 12, S. 151 u. 152), der wie Ehrlich und Brieger nach länger dauernden Aortenabsperrungen die graue Substanz des Lendenmarkes nekrotisch werden, die Hinterstränge dagegen unversehrt bleiben sah, zu der Folgerung, dass das Zugrundegehen der Empfindungsleitung nur durch die Zerstörung der grauen Substanz bedingt sein könne. Dasselbe haben Münzer und Wiener[18]) aus ihren ebenfalls die Ausschaltung des Lendenmarkgrau's bezweckenden Versuchen erschlossen. Sie sprechen direct aus, „dass beim Kaninchen die Schmerzempfindung jeder Extremität an die Intactheit des gleichseitigen, entsprechenden Hinterhornes gebunden ist, dass sie also durch Fasern geleitet wird, die aus den hinteren Wurzeln in die Hinterhörner eintreten und nicht direct durch die Hinterstränge nach aufwärts ziehen" (S. 125).

Bevor indessen eine solche Schlussfolgerung erlaubt ist, wäre noch ein Punkt zu berücksichtigen, nämlich die Einschaltung der Spinalganglien in den Verlauf der Empfindungsbahn. Reizt man erfolglos sensible Nervenfasern in ihrer Hautausbreitung oder auch im Nervenstamm, so wäre es denkbar, dass die Erregung das Gehirn desshalb nicht erreicht, weil sie das Spinalganglion durchsetzen muss, dessen Nervenzellen durch die Anämie functionsuntüchtig geworden sein könnten. Zwar hat Singer, wie schon vorher Ehrlich und Brieger, nach Aortenklemmungen, die so lange dauerten, dass danach Nekrose der grauen Substanz eintrat, die Spinalganglienzellen durchaus unversehrt gefunden; doch gibt die anscheinend normale histologische Beschaffenheit noch keine sichere Gewähr für die physiologische Leistungsfähigkeit.

Der obige Einwurf behält desshalb Geltung, bis experimentell bewiesen wird, dass die Einschaltung der Spinalganglien in die sensible Bahn an der durch Anämie hervorgerufenen Empfindungslähmung nicht betheiligt ist.

Ich hatte bei Gelegenheit einer anderen Versuchsreihe Veranlassung, diese Frage aufzuwerfen und experimentell zu beantworten. Dabei hatte ich nicht die dauernde Empfindungslähmung, wie sie

sich nach länger währenden Abklemmungen der Bauchaorta einstellt, im Auge, sondern ich begnügte mich mit der Beobachtung derjenigen Störungen, die dem genannten Eingriff unmittelbar folgen.

An die Beantwortung dieser Frage schloss sich eine andere an, die gleich erwähnt werden soll.

Ich verschloss also bei ätherisirten Kaninchen nach Eröffnung der Bauchhöhle die Aorta nahe unter dem Abgang der Nierenarterien und legte darauf durch Fortnahme von etwa zwei Wirbeln das Lendenmark und die von ihm entspringenden hinteren Wurzeln frei. Die Operation nimmt, da bei Blutleere operirt wird, nur wenige Minuten in Anspruch. Nach ihrer Vollendung ist auch das Thier wieder halbwach und reagirt deutlich auf Reize. Tetanisirt man jetzt den centralen Stumpf des N. ischiadicus, so bleibt das Thier vollkommen ruhig. Auch die Pupille bleibt unverändert. Ebenso verharrt das Thier aber in völliger Ruhe, wenn man eine oder mehrere hintere Wurzeln mechanisch oder elektrisch reizt. Auch die mechanische Reizung der Hinterstränge blieb in einem Falle, wo ich sie prüfte, im anämischen Gebiet ohne Erfolg. Trägt man nach oben zu noch einige Wirbelbögen ab, so dass man an den durchbluteten Abschnitt des Rückenmarks gelangt, so ist die geringste Berührung der hinteren Wurzeln oder der Dorsalstränge deutlich schmerzhaft.

Nach diesen Feststellungen ist der Einwurf, die Spinalganglien verschuldeten die der Anämie folgende Empfindungslähmung, so gerechtfertigt ein solches Bedenken auch war, als nicht zutreffend zurückzuweisen, und die Auffassung, dass der functionelle Ausfall der grauen Substanz die Fortleitung der Empfindung unmöglich macht, erweist sich als berechtigt.

Man wird also schliessen müssen, dass, wenigstens beim Kaninchen und hier mindestens im Gebiete des Lendenmarkes, alle hinteren Wurzelfasern, soweit sie der Schmerzleitung dienen, bald nach ihrem Eintritt in's Mark in die graue Rückenmarkssubstanz eindringen und hier erst durch Vermittelung von Nervenzellen und durch Bahnen zweiter Ordnung mit dem Gehirn in Verbindung treten. Die Unempfindlichkeit des Dorsalstrangs, die in einem Versuch festgestellt werden konnte, lässt sich vielleicht dadurch erklären, dass ein Theil der Fasern eine kurze Strecke weit in der weissen Masse der

Hinterstränge aufsteigt und erst etwas über dem Ursprungsniveau den Weg in die graue Substanz findet.

Danach dürfte die Länge des proximalen Abschnitts der sensiblen Neurone doch weit geringer sein, als man für einen Theil derselben annimmt. Das wahrscheinlichste ist, dass auch die längsten von ihnen durch reichliche Abgabe von Kollateralen an die graue Substanz sich bald erschöpfen.

Dass eine solche Einmündung in die graue Substanz für alle sensiblen Fasern gilt, darf zunächst allerdings noch nicht als sicher angesehen werden. Der Beweis ist nur, wie auch Singer, sowie Münzer und Wiener für ihre Versuche hervorheben, für die schmerzleitenden Fasern geliefert. Für ihren Verlauf hat bekanntlich schon Schiff[19]) die graue Substanz in Anspruch genommen. Schiff schrieb aber den tactilen Bahnen einen anderen Weg zu; sie sollen durch Hinterstränge gehen. Will man behaupten, dass alle der Empfindung dienenden Fasern nicht weit von ihrem Austritt aus dem Rückenmark in die graue Substanz eindringen und hier ein erstes Ende finden, so muss man den Beweis führen können, dass auch die Leitung der sensoriellen Impulse durch die Anämie des Rückenmarkes unterbrochen wird.

Dieser Nachweis lässt sich ebenfalls am Kaninchen, trotz seiner anscheinend geringen Neigung, auf tactile Erregungen zu reagiren, ohne grosse Schwierigkeit führen. Als Reagens auf tactile Reizungen diente mir der Blutdruck.

Es ist bekannt, dass man bei schwach curarisirten Kaninchen oft ansehnliche Blutdrucksteigerungen auf Hautreize erhalten kann. die noch lange nicht ausreichen, um Schmerzempfindung zu erzeugen. So genügt, worauf wohl Grützner und Heidenhain[20]) zuerst hingewiesen haben, oft blosses Anblasen der Haut, um den Druck um mehrere Centimeter in die Höhe zu treiben.

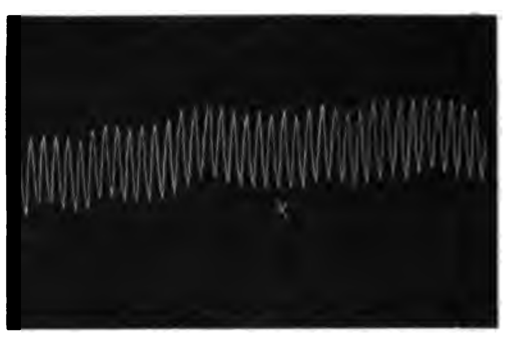
Ich experimentirte desshalb an Kaninchen, die eine so geringe Curaredosis erhielten, als zur Lähmung der Muskeln gerade ausreichte. Die Carotis war einmal mit einem Quecksilbermanometer, in einem anderen Falle mit dem Frey'schen Tonographen verbunden; bei den übrigen Versuchen bediente ich mich eines Gummifinger-Manometers (nach Marey), das mit einer Schreibkapsel in Verbindung stand[21]). Die Aorta war zur Unterbindung vorbereitet. Alle Reize, die in ungewünschter Weise auf das Thier einwirken

konnten, besonders auch akustische, wurden möglichst ferngehalten. Nachdem die Wirksamkeit des gewählten, tactilen Reizes (Anblasen mit dem Mund oder leichtes Streichen der Haut, leichteste mechanische Reizung der Nasenschleimhaut oder der Analgegend) erprobt war, wurde die Aorta geschlossen und danach in gewissen Zeitabständen wieder ebenso gereizt.

Es zeigte sich, dass die vorher wirksame Reizung der Haut des Hinterkörpers (Bauch, Hinterbeine, Analgegend, Schwanz) kurz nach der Aortenunterbindung den Blutdruck noch zu steigern vermag,

Fig. 1 a.

Fig. 1 b.



wenige Minuten später aber versagt. Die dann vorgenommene Reizung am Vorderkörper lieferte die früheren Erfolge.

Als Beispiel theile ich folgende Aufzeichnungen mit.

Fig. 1 a ist drei Minuten nach der Aortenverschliessung geschrieben. Bei × wurde die Bauchhaut angeblasen. Als 8 Minuten später die Reizung wiederholt wurde (Fig. 1 b), blieb sie ohne jeden Erfolg.

Ebenso klar ist der Erfolg der Aortenverschliessung in Fig. 2 zu erkennen. Sie stammt von einem anderen Versuchsthier. Die Curve ist 8—9 Minuten nach der Unterbindung der Bauchaorta geschrieben. Bei 1. wird die Nasenschleimhaut leicht mechanisch gereizt: der Druck geht stark in die Höhe. Bei 2. leichtes Streichen der Haut eines Hinterbeines — ganz ohne Wirkung; bei 3. schwache mechanische Reizung der Analgegend — ebenfalls ohne Erfolg.

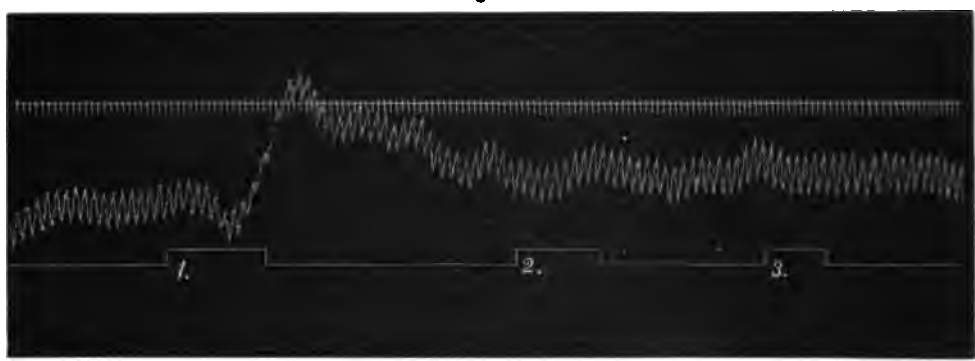
In einem anderen Versuch habe ich mich übrigens auch überzeugt, dass elektrische Reizung der hinteren Lumbalwurzeln nach Aortenverschliessung den Blutdruck in keiner Weise beeinflusste.

Nach diesen Ergebnissen kann ich es nicht mehr für zweifelhaft

halten, dass auch die tactilen Erregungen der Haut nicht direct, sondern auf dem Umwege durch die graue Substanz des Rückenmarkes zum Gehirn geleitet wurden.

Es muss zugegeben werden, dass durch die angeführten Beobachtungen dies für die zum Bewusstsein gelangenden Tastempfindungen noch nicht bewiesen ist. Freilich macht die Blutdruckerhöhung, die dem plötzlichen Anblasen der Haut folgt, den Eindruck, dass es sich um eine Folge des Schreckes handle, dass also das Sensorium dabei mitwirke. Doch haben die auf diesen

Fig. 2.



Punkt gerichteten Untersuchungen von Grützner und Heidenhain (a. a. O.) gezeigt, dass die in Frage stehende Blutdrucksteigerung auch dann nicht ausbleibt, wenn dem Thiere zuvor durch einen hinter dem Mittelhirn geführten Schnitt das grosse Gehirn ausgeschaltet worden war. Immerhin muss die Erregung, um eine ausgiebige, wenn auch nur reflectorische Blutdrucksteigerung zu erzielen, mindestens bis in die höheren Theile des Rückenmarks, vielleicht bis zum Kopfmark, in die Höhe steigen; versagt also der Reflex, so ist der Beweis geliefert, dass die Leitung schon in geringer Höhe über der Eintrittsstelle der betheiligten Hinterwurzeln unterbrochen ist. Sie kann eben über die blutleer gemachte Partie des Rückenmarkes nicht hinaus; da die weissen Dorsalstränge durch die Anämie nicht geschädigt worden sind, kann das Hinderniss nur im Lendenmarkgrau liegen. Wer mit mir der Ansicht ist, dass es eigene excitomotorische oder Reflexnerven nicht gibt, wird das, was von den reflexerzeugenden tactilen Bahnen bewiesen ist, ohne Bedenken auch für die die bewusste Empfindung vermittelnden gelten

lassen; wie Dittmar[22]) treffend bemerkt hat, sind ja Gefässreflex und zum Bewusstsein gelangende Empfindung Schwesterfolgen der sensiblen Reizung.

Noch ein anderer Versuch spricht in demselben Sinne wie die Blutdruckexperimente. Er beruht auf der Leichtigkeit, mit der man bei mit Strychnin vergifteten Thieren durch die geringste Hautreizung Reflexkrämpfe erzeugen kann. Ein ätherisirtes Kaninchen wird tracheotomirt, dann die Bauchaorta aufgesucht und mit einem Faden angeschlungen. Darauf wird in die V. jugularis ext. 0,5—0,75 mg Strychninnitrat in wässeriger Lösung eingespritzt. Alsbald brechen Krämpfe aus, die die gesammte Musculatur betheiligen. Die Aorta wird jetzt ligirt. Schon 3—4 Minuten danach nehmen die hinteren Extremitäten an den durch geringe Hautreize ausgelösten Krämpfen nicht mehr theil. Aber es gelingt auch nicht mehr, vom Hinterthier aus, trotz mehrfachen Wechsels der Reizstelle und der Reizstärke, irgend eine Reflexwirkung am Vorderkörper zu erzeugen, während die gelindeste Berührung eines Vorderbeines oder des Kopfes sofort einen Krampfanfall bewirkt.

Nach dem Obigen bedarf dieser Versuch keines besonderen Commentars; die aus den Blutdruckexperimenten gezogenen Schlüsse werden durch ihn nur bekräftigt, und es darf jetzt als bewiesen gelten, dass die in den Dorsalsträngen direct aufsteigenden Hinterwurzelfasern weder die Schmerzempfindung noch die tactile Empfindung der Haut ununterbrochen zum Gehirn leiten. Bestehen überhaupt solche directe Bahnen im Kaninchenrückenmark, so muss ihnen eine andere Bedeutung zukommen.

Nach dem Vorangegangenen kann man jedenfalls sagen, dass nicht nur die Bewegungsnerven, sondern auch die der Tast- und Schmerzempfindung dienenden Nerven ihr nächstes Ende in der grauen Substanz des Rückenmarkes nicht weit von ihrem Ursprung finden. Auch die vielleicht der Reflexvermittelung dienenden Ramòn'schen Collateralen der Dorsalwurzelfasern können nach dem Ergebniss des mitgetheilten Strychninversuchs ihre unmittelbare Wirksamkeit nur auf ein wenig ausgedehntes Gebiet erstrecken — eine Folgerung, die für die Lehre von der Ausbreitung der Reflexbewegungen nicht ohne Wichtigkeit sein dürfte.

Literatur.

1) A. Koelliker, Handbuch der Gewebelehre des Menschen. 6. Aufl. Bd. 2. S. 116—119. Leipzig 1896.

2) L. Edinger, Vorlesungen über den Bau der nervösen Centralorgane des Menschen und der Thiere. 4. Aufl. S. 149, 155, 156, 159—162. Leipzig 1893.

3) M. v. Lenhossék, Der feinere Bau des Nervensystems im Lichte neuester Forschungen. 2. Aufl. S. 397—402. Berlin 1895.

4) J. Singer, Ueber secundäre Degeneration im Rückenmarke des Hundes. Sitzber. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien. Bd. 84 Abth. 3 S. 392, 1881.

5) U. Oddi e R. Rossi, Sul decorso delle vie afferente del midollo spinale studiate col metodo delle degenerazioni. Lo Sperimentale 15. marzo 1891. p. 49.

6) C. S. Sherrington, Note on the spinal portion of some ascending degenerations. Journ. of physiology Vol. 14 No. 4 and 5 p. 255. 1893.

7) Waldeyer, Ueber einige neuere Forschungen im Gebiete der Anatomie des Centralnervensystems, Deutsche med. Wochenschr. Nr. 44 ff. S. 61 des Sonderaddruckes. 1891.

8) Schiffer, Ueber die Bedeutung des Stenson'schen Versuches. Centralbl. f. d. med. Wissenschaften. S. 579 u. 593, 1869.

9) P. Ehrlich und Brieger, Ueber die Ausschaltung des Lendenmarkgrau. Zeitschr. f. klin. Med. Bd. 7 Suppl. S. 155, 1884.

10) L. Fredericq, L'anémie expérimentale comme procédé de dissociation des propriétés motrices et sensitives de la moelle épinière. Bull. de l'Acad. roy. de Belgique. (5.) t. 18 No. 7 p. 54, 1889.

11) Colson, Recherches physiologiques sur l'occlusion de l'aorte thoracique. Travaux du laboratoire de Léon Fredericq. T. 3 p. 111, 1889—1890.

12) J. Singer, Ueber die Veränderungen am Rückenmark nach zeitweiser Verschliessung der Bauchaorta. Sitzber. der kais. Akad. der Wissenschaften. Bd. 96 Abth. 3 November-Heft, 1887.

13) E. Münzer und H. Wiener, Beiträge zur Anatomie und Physiologie des Centralnervensystems. 1. Mitth. Ueber die Ausschaltung des Lendenmarkgrau. Arch. f. exp. Pathol. und Pharmakol. Bd. 35 S. 113, 1895.

14) Vulpian, Leçons sur la physiologie générale et comparée du système nerveux. p. 451, Paris 1866. Citirt nach Mayer (18).

15) E. Pflüger, Beiträge zur Lehre von der Respiration. 1. Ueber die physiologische Verbrennung in den lebendigen Organismen. Dieses Arch. Bd. 10 S. 312 u. 313, 1875; vgl. auch ebenda Bd. 15 S. 152, 1877.

16) O. Langendorff, Die chemische Reaction der grauen Substanz. Neurolog. Centralblatt 1885, Nr. 24; vgl. auch Centralblatt f. d. med. Wissenschaften 1882 Nr. 50.

17) B. Luchsinger, Ein neuer Versuch zur Lehre von der directen Reizbarkeit des Rückenmarks. Dieses Archiv Bd. 22 S. 169, 1880.

18) Sigm. Mayer, Studien zur Physiologie des Herzens und der Blutgefässe. 6. Abhandlung. Ueber die Erscheinungen im Kreislaufsapparate nach zeitweiliger Verschliessung der Aorta. Sitzber. d. kais. Akad. d. Wissenschaften. Wien. Math.-naturw. Cl. Bd. 79 Abth. 3 S. 87, 1879.

19) M. Schiff, Lehrbuch der Physiologie des Menschen. 1. Muskel- und Nervenphysiologie. S. 237. Lahr 1858—1859.

20) R. Heidenhain, Beiträge zur Kenntniss der Gefässinnervation. 3. Einige Versuche und Fragen, die Kenntniss der reflectorischen Drucksteigerung betreffend. Von P. Grützner und R. Heidenhain. Dieses Archiv Bd. 16 S. 54, 1878.

21) O. Langendorff, Physiolog. Graphik. S. 215. Leipzig und Wien 1891.

22) C. Dittmar, Ein neuer Beweis für die Reizbarkeit der centripetalen Fasern des Rückenmarkes. Arbeiten d. physiolog. Anstalt in Leipzig. Bd. 5 S. 21, 1873.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Rostock.)

Ueber das Flimmern des Kaltblüterherzens.

Von

Hans Bätke.

Die Frage, ob die isolirte Spitze des Säugethierherzens auf elektrische Reizung in's Flimmern gerathen könne, ist durch eine voraufgehende Mittheilung von Langendorff[1]) in Uebereinstimmung mit einigen anderen Autoren bejahend beantwortet worden. Es hätte nahe gelegen, sich zur Untersuchung über die Betheiligung der Herzganglien am Flimmerphänomen des Froschherzens zu bedienen, dessen nach der Bernstein'schen Methode abgequetschte Spitze unter annähernd normalen Ernährungsbedingungen beobachtet werden kann. In vielen Fällen hatte ja bereits dieses Präparat zur Entscheidung darüber gedient, ob eine Einwirkung auf das Herz nur am ganglienhaltigen Herzmuskel zu Stande kommt, oder ob die dabei sich geltend machenden Erscheinungen auf den Herzmuskel selbst zu beziehen seien.

Ein Umstand hatte aber verhindert, die Entscheidung darüber, ob das Flimmern myogenen oder neurogenen Ursprungs sei, am Froschherzen herbeizuführen. Die Erscheinungen nämlich, die man an diesem sowohl bei galvanischer Reizung als auch bei Tetanisirung mit Inductionsströmen beobachtet, entsprechen durchaus nicht dem, was man beim Säugethierherzen Flimmern nennt. Niemals erlöschen hier die rhythmischen Contractionen völlig; sie können ungemein beschleunigt und irregulär werden, sie können auf eine Dauercontraction des Herzmuskels sich superponiren; aber entweder bleibt das ganze Herz in einer an allen Stellen gleichen Weise thätig, oder es treten deutliche peristaltische Wellen auf, die in mehr oder minder gesetzmässiger Richtung über das Herz hinwegziehen.

So ist denn auch von verschiedenen Autoren hervorgehoben worden, dass das elektrische Wogen des Froschherzens etwas durchaus Anderes sei, als das Flimmern des Warmblüterherzens.

Mc William[2]), der an verschiedenen Thieren, besonders Säugethieren, die in Rede stehende Erscheinung untersucht hat, gibt an, dass bei Kaltblütern, ähnlich wie bei jungen Säugethieren und Hühnerembryonen, die durch Faradisirung zu erzielende Bewegungsstörung des Herzens einen sehr einfachen Charakter habe, der sie vom Flimmern des Herzens bei erwachsenen Warmblütern unterscheide.

In Uebereinstimmung hiermit stehen die Beobachtungen Neumanns[3]). Er fand, dass bei Einwirkung schwächerer galvanischer Ströme auf das Froschherz Schwäche und Beschleunigung der Herzschläge entsteht, dass bei stärkeren Strömen zunächst mannigfaltige Unregelmässigkeiten, dann unvollkommene Zusammenziehungen, wechselnde Grösse der Pulse, Intermissionen, Gruppenbildung eintritt, dass endlich noch stärkere Galvanisirung Wogen zur Folge hat. In Bezug auf dieses fährt er fort: „Das bei stärkeren Strömen auftretende Wogen besitzt einen wesentlich anderen Charakter als die betreffende Erscheinung am Säugethierherzen; es erfolgt hauptsächlich in peristaltischen Wellen, welche in der Richtung des Stromes ablaufen. Unverkennbar ist diese Erscheinung dem Kühne'schen Phänomen am gewöhnlichen Muskel analog . . . Die Succession dieser Wellen ist oft so regelmässig, dass das Herz schwache, zierliche Pulsationen aufzuzeichnen scheint. Die allerstärksten Ströme bewirken nicht mehr Wogen, sondern diastolischen Stillstand des Herzens, welcher die Oeffnung lange überdauert und oft in definitive Lähmung übergeht . . . In einzelnen Fällen ist der Stillstand systolisch." Neumann hebt ferner hervor, dass das Froschherz nach der Oeffnung des Wogen hervorrufenden Stromes, selbst nach Einwirkung von 18 Zinkkohlenelementen, seine Pulsation stets wieder aufnimmt.

Aehnliches hat auch Fonrobert[4]) beobachtet, der seine Aufmerksamkeit besonders auf die von Biedermann[5]) zuerst am Schneckenherzen, später auch am Froschherzen gefundenen anodischen Erschlaffungswellen gerichtet hat, die er auch an der isolirten, zum Pulsiren gebrachten Herzspitze wieder fand. Fonrobert ist geneigt, auf diese die in der Stromrichtung fortschreitende Peristaltik des galvanisch erregten Froschherzens zurückzuführen. Im Uebrigen betont auch er die Verschiedenheit vom Wogen des Säugethierherzens.

Endlich gibt Langendorff[6]) an, dass bei starker Abkühlung des das künstlich gespeiste Katzenherz durchfliessenden Blutes das Wogen des Herzens, das hier zuweilen anscheinend spontan eintritt,

einen andern Eindruck macht als das, was man am normal erwärmten Herzen beobachtet. „Hier kann," sagt er, „das Wogen in eine Art von Peristaltik übergehen, die einerseits an die elektrisch durchströmten Froschherzen, andererseits an die charakteristischen Folgen der Kalivergiftung (Aubert und Dehn) erinnert."

Allen Beobachtern ist somit, wie ersichtlich, der Unterschied des flimmernden Warmblüter- und Kaltblüterherzens aufgefallen.

Mc William ist zu der Annahme geneigt, dass die Verschiedenheit der geweblichen Struktur diese Verschiedenheit bedinge. Die angeführte Beobachtung von Langendorff legt indessen eine andere Deutung näher. Da nämlich das stark abgekühlte Warmblüterherz eine ähnliche Art des Wogens zeigt wie das Froschherz, so wäre es denkbar, dass die Abweichung des letzteren vom Flimmern des normalen Säugethierherzens auf seiner niederen Temperatur beruhe.

Es erhebt sich somit die Frage, ob es vielleicht gelingen möchte, das Froschherz durch künstliche Erwärmung so umzuwandeln, dass es durch elektrische Reizung in echtes Flimmern geräth.

Auf den Wunsch des Herrn Prof. Langendorff habe ich die Beantwortung dieser Frage übernommen.

Zuerst habe ich mich an schwach mit Curare vergifteten Fröschen von der Richtigkeit der vorliegenden Angaben über die Wirkung des constanten und des faradischen Stromes überzeugt. Selbst bei stärksten Reizen gelang es mir niemals, ein Flimmern zu erzeugen, wie es am Warmblüterherzen eintritt.

Alsdann wurden Versuche an erwärmten Fröschen angestellt. Ich bediente mich dazu einer flachen Blechwanne mit doppelter Wand. Der Wandraum, in dem ein Thermometer hängt, wird mit Wasser gefüllt und durch einen sogenannten Mikrobrenner erwärmt. Der Frosch liegt in dem flachen Hohlraum der Wanne, durch eine Schicht Asbestpappe vor directer Berührung des heissen Metalls geschützt. Ueber ihn ist eine Glasglocke gedeckt, sodass er sich also in einer Wärmekammer befindet. In den Magen des Frosches wird ein kleines Thermometer eingeführt, dessen hervorragender Theil, in einer Rinne der Wannenwand liegend, nach aussen geführt ist. Unter der Glocke befinden sich zugleich die Elektroden, an einem Stativ befestigte Platinelektroden, wenn es sich um Faradisirung, unpolarisirbare Pinselelektroden, wenn es sich um Galvanisirung des Herzens handeln sollte. Die Tetanisirung geschah mittelst eines mittelgrossen Schlittenapparats, der mit einem Tauchelement ver-

bunden war. Für den Kettenstrom kamen 4 Zink-Kohlenelemente zur Anwendung; der Stromkreis enthielt einen Quecksilberschlüssel, einen Stromwender und ein Edelmann'sches Galvanometer. Im Nebenschluss befand sich ein Stöpselrheostat. Von den beiden Pinselelektroden wurde die eine der Herzkammer, die andere breit der Kehlhaut des Frosches angelegt.

Die Temperatur des Froschkörpers konnte ohne Schaden für das Herz allmälig bis auf 32—34° gesteigert werden. Höhere Temperaturen erwiesen sich, wie übrigens bekannt ist, leicht als verderblich.

Es ergab sich nun, dass bereits bei 30° oder etwas darüber liegender Temperatur sowohl durch tetanisirende als auch durch Kettenströme sich Flimmern erzielen liess, das in seinem Aussehen von dem des Säugethierherzens sich nicht unterschied. Beim faradischen Strom genügte schon ein Rollenabstand von 12 cm, um deutliches Flimmern zu erhalten. Hörte die Reizung auf, so dauerte das Flimmern nicht an, sondern es trat ein kurzer Herzstillstand ein, dem sofort regelmässige Pulsationen folgten. Selbst eine noch grössere Annäherung der Rollen und Verlängerung der Reizungsdauer bis auf etwa ½ Minute hatte kein die Reizung überdauerndes Flimmern zur Folge.

Ganz ähnlich waren die Erscheinungen bei Anwendung des Kettenstroms. Um deutliches Flimmern hervor zu bringen, genügte bei 30° schon ein Strom von 1—1,5 M. A., während viel grössere Stromstärken am kalten Herzen niemals etwas Aehnliches erzeugt hatten. Auch hier zeigte sich als Nachwirkung des Reizes nur ein mehr oder minder lange dauernder diastolischer Stillstand, dem sofort regelmässige Herzschläge folgten.

Weiter sollte geprüft werden, ob am erwärmten Herzen auch der ganglienfreie Herzmuskel zum Flimmern zu bringen ist. Dass dies beim kalten Herzen niemals der Fall ist, geht bereits aus den Beobachtungen von Neumann und Fonrobert hervor, und ich schliesse mich, nach eigener Erfahrung, diesen Angaben durchaus an. Auch ich experimentirte an der nach Bernstein abgeklemmten „Herzspitze“ des schwach curarisirten Thieres. Die kalte Herzspitze wird durch schwache galvanische und faradische Reizung nur zu langsamen oder schnellen, spärlicheren oder reichlicheren Pulsationen gebracht; bei stärkeren Strömen zeigt sich eine Art von Peristaltik, niemals aber wahres Flimmern. Wird nun ein solches Froschherz

allmälig auf eine Temperatur von wenig über 30° erwärmt, so treten hier dieselben Erscheinungen auf, wie wir sie bereits am ganglienhaltigen Herzen gesehen haben. Bei passender Stromstärke geräth bei beiden Formen der elektrischen Durchströmung die abgeklemmte Herzspitze in typisches Flimmern, das so lange wie die Reizung währt, sie aber niemals überdauert.

Aus dem Mitgetheilten folgt, dass

1) das unversehrte auf 30—34° erwärmte Froschherz durch elektrische Reizung (Kettenströme und tetanisirende Inductionsströme) zum echten, dem des Warmblüterherzens vollkommen entsprechenden Flimmern zu bringen ist;

2) dass beim Froschherzen aber im Gegensatz zum Herzen vieler Warmblüter das Flimmern die Reizung nie überdauert;

3) dass endlich auch die erwärmte ganglienfreie Herzspitze auf elektrische Durchströmung durch Flimmern reagirt.

Es sei hier noch in Bezug auf den sub 3) angeführten Punkt eine Bemerkung eingeschaltet. Wenn aus den vorliegenden Beobachtungen mit aller Sicherheit hervorgeht, dass der ganglienlose Herzmuskel in's Flimmern gerathen kann, so ist damit noch nichts ausgesagt über die Natur derjenigen Elemente desselben, die das Flimmern anregen. Dies können ebenso gut seine zahlreichen Nerven wie der Muskel selbst sein. Nur um den Gegensatz zwischen dem gangliösen und nichtgangliösen Ursprung hervor zu heben, habe ich oben von myogenem und neurogenem Wogen gesprochen. Gewisse Beobachtungen legen nahe, die Quelle des Flimmerns beim ganglienfreien Herzen in seinem Nervenapparat zu suchen. Es scheint mir nämlich sicher, dass das Flimmern des Herzens nicht eine diesem Muskel allein zukommende Erscheinung ist, sondern dass ihm das unter so vielen Umständen, beim Absterben, bei der Nervendegeneration, bei Vergiftung mit Nicotin und Physostigmin, sowie mit Kupfer- und Zinksalzen beobachtete Flimmern von Skeletmuskeln nicht nur äusserlich, sondern auch dem Wesen nach völlig analog ist. Das von Schiff entdeckte Flimmern der Gesichts- oder Zungenmuskulatur nach Durchschneidung des N. facialis oder hypoglossus bezieht man zumeist wohl mit Recht auf Reizungen, die von den Endverzweigungen der absterbenden Nervenfasern ausgehen. Vom Flimmern der Muskeln bei der Nicotinvergiftung hat allerdings v. Anrep[7]) bewiesen,

dass es vom Centralorgan her angeregt wird, doch Luchsinger[8]) sah zwar, wie er, nach Durchschneidung der Nerven das Flimmern fehlen, bewies aber, dass es durch schwache Tetanisirung der durchschnittenen Nerven sowie durch milde mechanische Reizung der Muskeln selbst wieder angeregt werden kann. Da nach Curarevergiftung das Flimmern ausbleibt, so ist zu schliessen, dass es sich nur um die Folgen einer indirecten Muskelreizung handelt.

Vielleicht liegen die Dinge beim Herzmuskel ganz ebenso: in der Regel vom gangliösen Centrum aus hervorgerufen, lässt es sich auch durch Reizung des peripherischen Nerv-Muskelapparats, wenn auch schwerer, erzeugen. Leider fehlt uns aber beim Herzen ein Mittel, das, wie das Curare bei Skeletmuskeln, den Einfluss der nervösen Elemente sicher aufhebt. Die Frage, ob es sich um eine primäre Erregung der muskulären oder der nervösen Bestandtheile des Herzmuskels handelt, muss also vor der Hand unbeantwortet bleiben.

Die vorangehenden Beobachtungen zeigen, dass die Strukturverschiedenheit von Frosch- und Säugethierherz das verschiedene Verhalten gegen die elektrische Reizung nicht bedingt, da Erwärmung des Froschherzens es befähigt, wenigstens während der Dauer des Stromes, genau so zu reagiren wie das Warmblüterherz. Worauf dieser Einfluss der Wärme beruht, lässt sich ohne Weiteres nicht sagen. Sie könnte in der grösseren Contractionsgeschwindigkeit des warmen Muskels begründet sein. Es liegt indessen nahe, anzunehmen, dass lediglich die Erregbarkeitserhöhung, die das Froschherz durch zunehmende Wärme erfährt, die Ursache dieses Verhaltens sei. In dieser Auffassung bestärken mich einige Beobachtungen, die ich am Herzen eines höher organisirten Kaltblüters angestellt habe, nämlich an dem der Sumpfschildkröte (Emys europaea).

Die Reizung des Herzens geschah in derselben Weise wie beim Froschherzen. Das Herz wurde durch Trepanirung des Bauchschildes freigelegt. In mehreren Fällen waren die Herzen blutarm und ihre Energie gering. An diesen erzielte ich auch weder durch constante noch faradische Reizung andere Resultate als diejenigen, die man gewöhnlich beim kalten Froschherzen findet. An zwei Exemplaren jedoch, deren Blutdruck allem Anscheine nach hoch war, und deren Herzen sehr kräftig schlugen, ist es mir gelungen, auch ohne dass

eine künstliche Erregbarkeitserhöhung durch Wärme*) stattzufinden brauchte, typisches Flimmern zu erzielen, das durchaus dem des Warmblüterherzens entsprach. In einem Falle flimmerte der Ventrikel in seiner ganzen Ausdehnung auf's Deutlichste; ob hier auch die Vorhöfe in's Flimmern gerathen sind, kann ich nicht sagen. Das Flimmern überdauerte die (tetanisirende) Reizung um etwa 1 Minute. Dann folgte ein kurzer Herzstillstand und diesem wieder regelmässige Pulse. Auch mechanische Reizung war später bei demselben Herzen wirksam. Ein einmaliges Herüberfahren mit einer stumpfen Pincette über die linke Hälfte des Ventrikels brachte diesen zu einem etwa $^1/_2$ Minute lang dauernden, sehr ausgesprochenen Flimmern. In dem andern Falle flimmerten nach wenige Secunden dauernder galvanischer Reizung bei einer Stromstärke bis zu 5 M. A. nur die Vorhöfe. Besonders schön war diese Erscheinung am rechten Vorhofe zu beobachten. Das Flimmern hielt über eine Minute an. Die Kammer dieses Herzens liess sich durch die stärksten Ströme dagegen nur zum peristaltischen Wogen bringen, das nach der Durchströmung aufhörte.

Aus diesen und den vorhergehenden Beobachtungen folgt, dass weder die Strukturverschiedenheit von Kalt- und Warmblüterherz, noch die verschiedene Temperatur an sich, noch die vom Wärmegrad abhängige Contractionsgeschwindigkeit den Unterschied des Verhaltens bedingt. Da aber einerseits kräftigere und desshalb vermuthlich auch erregbarere Herzen leichter zum Flimmern zu bringen sind als weniger erregbare, andererseits durch Erwärmung die Erregbarkeit des Froschherzens gesteigert werden kann, so dürfte wohl der Schluss erlaubt sein, dass für gewöhnlich nur eine zu geringe Erregbarkeit des Herzens beim Frosch das Auftreten von echtem Flimmern verhindert.

Von diesem Gesichtspunkte aus wird es wahrscheinlich, dass es gelingen möchte, auch durch andere, die Erregbarkeit des Froschherzmuskels steigernde Eingriffe, ihn zum Flimmern geeignet zu machen. Ein von mir dahin unternommener Versuch mit Atropin ist allerdings erfolglos geblieben. Indessen dürfte sich aus dem Ergebniss eines einzelnen Experiments noch kein Schluss ziehen lassen.

---

*) Die Thiere befanden sich in der kalten Jahreszeit, in der die Versuche angestellt wurden, in einem ungeheizten Raume und wurden erst bei Anstellung des Versuchs in das warme Experimentirzimmer gebracht.

Literatur-Verzeichniss.

1) O. Langendorff, Ueber das Wogen oder Flimmern des Herzens. Dieses Archiv Bd. 70 S. 281.
2) J. A. Mc William, Fibrillar contraction of the heart. Journ. of physiology Vol. 8 p. 296.
3) R. Neumann, Untersuchungen über die Wirkung galvanischer Ströme auf das Frosch- und das Säugethierherz. Dieses Archiv Bd. 29 S. 403. 1886.
4) A. Fonrobert, Ueber die elektrische Reizung des Herzens. Inaug.-Diss. Rostock 1895.
5) W. Biedermann, Elektrophysiologie. I. Abtheilung S. 219 ff. Jena 1895.
6) O. Langendorff, Untersuchungen am überlebenden Säugethierherzen. Dieses Archiv Bd. 66 S. 395.
7) B. v. Anrep, Neue Erscheinungen der Nikotinvergiftung. Archiv f. Anat. und Physiol. (Physiolog. Abtheilung) Suppl.-Bd. 167. 1879.
8) B. Luchsinger, Ueber Reizgifte peripherer Nervenenden. Dieses Archiv Bd. 38 S. 80. 1882.

(Aus dem physiologischen Institut in Bonn.)

Ueber die Beziehung des Nahrungsbedürfnisses zur stickstoffhaltigen Körpersubstanz.

Von

Bernhard Schöndorff.

Nach Pflüger[1]) ist das Nahrungsbedürfniss durch die lebendige Zellensubstanz bestimmt und muss desshalb zu dem Stickstoffgehalt des thierischen Körpers in einer bestimmten Beziehung stehen. Die Grösse des normalen Nahrungsbedürfnisses wird nach demselben Forscher am sichersten ermittelt, wenn man bei fast ausschliesslicher Eiweissnahrung die kleinste Eiweissmenge ermittelt, welche dem Nahrungsbedürfnisse eben genügt.

Die Grösse des Nahrungsbedürfnisses ist nach seinen Untersuchungen abhängig von dem Fleischgewicht des Thieres und wächst mit diesem in geradem Verhältnisse.

Er fand für seinen Hund das Nahrungsbedürfniss bei Fütterung mit magerstem Fleische bei Ruhe und bei mittlerer Temperatur:

1 kg Fleischgewicht = 2,073 g Stickstoff im gefütterten Fleisch.

Als ich in meiner Untersuchung über den Einfluss der Schilddrüse auf den Stoffwechsel[2]) am Schlusse des Versuches den Gesammtstickstoffgehalt des Hundes bestimmte, war hierdurch die Möglichkeit gegeben, aus diesem Stickstoffgehalt und der bekannten Stickstoffbilanz in jeder Versuchsperiode den Stickstoffgehalt des Hundes zu bestimmen und dadurch die Grösse des Nahrungsbedürfnisses des Hundes, bezogen auf seinen Stickstoffgehalt, genau festzustellen. Während der Normalperiode vom 27. April bis 5. Mai 1896, das ist zu einer Zeit, während welcher der Hund nahezu im Stoffwechsel- und Stickstoffgleichgewicht war, betrug sein mittlerer

---

1) Dieses Archiv Bd. 52.

2) Dieses Archiv Bd. 67 S. 439.

Stickstoffgehalt 648,54 g N. Er erhielt während dieser Periode eine Nahrung, bestehend aus 928 g Fleisch und 32 g Schweineschmalz, deren Calorienwerth = 1397 Cal = 52,21 g N war.

Das Nahrungsbedürfniss des Hundes betrug also:

1 g Stickstoff des Thieres = 0,0805 g Stickstoff in der Nahrung, oder:

33 g Thier-N = 1 kg stickstoffhaltige Körpersubstanz = 2,657 g Nahrungs-N.

Da diese Zahl um ein Viertel grösser war als die von Pflüger für seinen Hund gefundene, so lag entweder die Möglichkeit vor, dass derartige grosse individuelle Schwankungen vorkommen, oder aber, dass diese auffallende Höhe des Nahrungsbedürfnisses durch eine Nachwirkung der Schilddrüse bedingt war.

Da es nun von Interesse war, zu wissen, ob bei hauptsächlicher Ernährung mit Fleisch eine bestimmte Beziehung zwischen dem Nahrungsbedürfnisse und dem Stickstoffgehalte des Thieres besteht, beschloss ich, auf den Vorschlag von Herrn Prof. Pflüger, zu versuchen, diese Frage durch einen neuen Stoffwechselversuch an einem Hunde zur Entscheidung zu bringen.

Zu dem Ende war es also nothwendig, mit einer bezüglich ihres Calorienwerthes bekannten Nahrung, die hauptsächlich aus Fleisch bestand, einen Hund auf Stoffwechsel- und Stickstoffgleichgewicht zu bringen, eine Zeit lang zu beobachten, ihn dann zu tödten und seinen Gesammtstickstoffgehalt zu bestimmen.

Der Versuch wurde in derselben Weise angestellt wie die früheren Stoffwechselversuche im hiesigen Institute.

Zum Versuche diente eine Hündin von annähernd 33 kg Gewicht, die eine Zeit lang mit ungefähr 1000 g magerem, nur von gröberen Fetttheilen befreitem Pferdefleisch gefüttert und während dieser Zeit abgerichtet wurde, ihren gesammten 24stündigen Harn und Koth in eine untergehaltene Schale zu entleeren.

Der Hund befand sich dauernd in einem mit Zinkblech ausgeschlagenen und oben mit Eisenstäben vergittertem Kasten. Der Boden des Kastens war durchlöchert, und unter demselben befand sich eine Zinkschale, so dass es möglich war, den Harn aufzufangen, wenn der Hund denselben in den Kasten entleerte.

Während der ganzen Versuchsdauer kam dies niemals vor.

Der Harn wurde von Morgens 8½ Uhr bis 8½ Uhr des nächsten Tages gesammelt.

Die sämmtlichen Stickstoffbestimmungen wurden nach Kjeldahl ausgeführt. Der Harn wurde auf 2500 ccm aufgefüllt und von dieser Mischung nahm ich je 5 ccm zur Analyse.

Der Koth wurde mit verdünnter Schwefelsäure auf dem Wasserbade getrocknet, gepulvert und ein aliquoter Theil zur Analyse verwandt.

Der Koth der ganzen Versuchsperiode wurde gesammelt und dann analysirt.

Das Gewicht des Hundes wurde Morgens um 10 Uhr vor der Fütterung bestimmt.

Der Hund wurde während der ganzen Versuchsperiode mit demselben Pferdefleisch, dessen Stickstoff, Fett- und Glykogengehalt genau bekannt war, gefüttert. Das Fleisch wurde nach der von Pflüger bei seinem Arbeitsversuche angewandten Methode conservirt. Zu dem Ende wurden ungefähr 50 kg Pferdefleisch möglichst von sichtbarem Fett und Bindegewebe befreit, in einer Fleischhackmaschine mehrmals zerkleinert und längere Zeit durcheinander geknetet. Von diesem gleichförmigen Gemengsel wurde alsdann die nothwendige Menge in Einmachgläser gefüllt und 12 Stunden lang im Wasserbade sterilisirt.

Die Stickstoffbestimmung im Fleisch wurde nach Kjeldahl ausgeführt, indem je 40—50 g Fleisch mit 150 ccm Schwefelsäure und 1 ccm Quecksilber oxydirt, die Flüssigkeit auf 2500 ccm aufgefüllt und ein aliquoter Theil (100 ccm) abdestillirt wurde.

Die Fettbestimmung wurde nach der Verdauungsmethode[1]), wie sie im hiesigen Institute gebräuchlich war, die Glykogenbestimmung nach Brücke-Külz ausgeführt.

Die Berechnung des Calorienwerthes der Nahrung geschah nach den von Pflüger[2]) angegebenen Zahlenwerthen:

1 g Stickstoff des Fleisches = 26,76 Cal Nutzwerth, gültig für unthätige Hunde, 1 g thierisches Fett = 9,461 Cal Nutzwerth, 1 g Kohlehydrat = 4,1 Cal Nutzwerth.

Der Hund wurde nun in der Weise ernährt, dass der grösste Theil des Nahrungsbedürfnisses durch Fleisch, der Rest durch Schweineschmalz gedeckt wurde.

Während der ganzen Versuchszeit erhielt er dauernd dieselbe Menge Wasser, und zwar 300 ccm.

1) Dieses Archiv Bd. 65 S. 90.

2) Dieses Archiv Bd. 52 S. 68.

Periode vom 25. December 1897 bis 20. Januar 1898.

Da sich bei der Fütterung mit frischem Pferdefleisch herausgestellt hatte, dass ungefähr 1000 g genügten, um den Hund auf gleichem Gewicht zu erhalten, so wurden 950 g Fleisch in Gläsern sterilisirt. Der Rest des Nahrungsbedürfnisses sollte dann durch Schweineschmalz gedeckt werden.

Analyse des Fleisches.

A. Stickstoffbestimmung.

49,66	g Fleisch	3,3075 % N,
43,7735	„ „	3,315 „ „
59,484	„ „	3,295 „ „

Im Mittel 3,3058 % N.

950 g Fleisch enthalten 31,42 g Stickstoff.

B. Fettbestimmung.

302,82 g frisches Fleisch enthalten:

1) 2,4508 g + 1,9817 g = 4,4325 g = 1,464 % Fett,
2) 2,4508 „ + 2,005 „ = 4,4558 „ = 1,471 „ „

Im Mittel 1,468 % Fett.

950 g Fleisch enthalten also 13,95 g Fett.

C. Glykogenbestimmung.

1) 200 g Fleisch = 1,1405 g Glykogen,
2) 200 „ „ = 1,1405 „ „

Im Mittel 0,5703 % Glykogen.

950 g Fleisch enthalten also 5,42 g Glykogen.

D. Calorienwerth des Fleisches.

31,42 g	N	= 840,67 Cal,
13,95 „	Fett	= 131,98 „
5,42 „	Glykogen	= 22,22 „

950 g Fleisch = 994,87 Cal = 37,18 g Stickstoff.

Der Hund wurde nun vom 6. December 1897 mit diesem Fleisch und einem Zusatz von Schweineschmalz gefüttert. Anfangs erhielt er 20 g Schweineschmalz, dann allmälig bis zu 60 g. Vom 25. December 1897 an erhielt er dauernd 60 g Schmalz, welche nebst dem Fleisch seinem Bedürfniss genügten.

Datum	Gewicht des Hundes kg	Tägliche Zufuhr an Fleisch g	Tägliche Zufuhr an Fett g	Calorienwerth der Nahrung cal	Gesammt-stickstoff-Zufuhr pro Tag g	Gesoffenes Wasser ccm	Tägliche Harnmenge ccm	Spec. Gewicht des Harns	Stickstoff im tägl. Harn g	Stickstoff im tägl. Koth g	Gesammt-ausgabe an Stickstoff pro Tag g	Tägl. Bilanz des Stickstoffs g
25—26. December 1897 . .	32,9	950	60	1562,5	31,42	300	860	1037	29,63	1,49	31,12	+ 0,30
26.—27. „ 1897 . .	32,8	950	60	1562,5	31,42	300	920	1034,5	29,13	1,49	30,62	+ 0,80
27.—28. „ 1897 . .	32,8	950	60	1562,5	31,42	300	825	1035	26,30	1,49	27,79	+ 3,63
28.—29. „ 1897 . .	32,8	950	60	1562,5	31,42	300	855	1036	28,75	1,49	30,24	+ 1,18
29.—30. „ 1897 . .	32,95	950	60	1562,5	31,42	300	820	1038	28,95	1,49	30,44	+ 0,98
30.—31. „ 1897 . .	32,85	950	60	1562,5	31,42	300	820	1036	28,30	1,49	29,79	+ 1,63
31. Dec. 1897 bis 1. Jan. 1898	32,95	950	60	1562,5	31,42	300	810	1037	29,09	1,49	30,58	+ 0,84
1.—2. Januar 1898 . . .	32,95	950	60	1562,5	31,42	300	970	1033	29,65	1,49	31,14	+ 0,28
2.—3. „ 1898 . . .	32,7	950	60	1562,5	31,42	300	870	1036	29,03	1,49	30,52	+ 0,90
3.—4. „ 1898 . . .	32,8	950	60	1562,5	31,42	300	890	1035,5	29,75	1,49	31,24	+ 0,18
4.—5. „ 1898 . . .	32,8	950	60	1562,5	31,42	300	860	1035	27,50	1,49	28,99	+ 2,43
5.—6. „ 1898 . . .	32,7	950	60	1562,5	31,42	300	830	1037	29,45	1,49	30,94	+ 0,48
6.—7. „ 1898 . . .	32,8	950	60	1562,5	31,42	300	860	1037,5	30,23	1,49	31,72	— 0,30
7.—8. „ 1898 . . .	32,85	950	60	1562,5	31,42	300	940	1031	26,79	1,49	28,28	+ 3,14
8.—9. „ 1898 . . .	32,7	950	60	1562,5	31,42	300	940	1033	28,28	1,49	29,77	+ 1,65
9.—10. „ 1898 . . .	32,7	950	60	1562,5	31,42	300	1050	1032,5	31,13	1,49	32,62	— 1,20
10.—11. „ 1898 . . .	32,7	950	60	1532,5	31,42	300	950	1033	[illegible]9,86	1,49	31,35	+ 0,07
11.—12. „ 1898 . . .	32,55	950	60	1562,5	31,42	300	940	1037	31,03	1,49	32,52	— 1,10
12.—13. „ 1898 . . .	32,55	950	60	1562,5	31,42	300	870	1037	31,88	1,49	33,37	— 1,95
13.—14. „ 1898 . . .	32,6	950	60	1562,5	31,42	300	850	1038,5	31,00	1,49	32,49	— 1,07
14.—15. „ 1898 . . .	32,6	950	60	1562,5	31,42	300	880	1035	29,03	1,49	30,52	+ 0,90
15.—16. „ 1898 . . .	32,6	950	60	1562,5	31,42	300	850	1036	29,45	1,49	30,94	+ 0,48
16.—17. „ 1898 . . .	32,6	950	60	1562,5	31,42	300	910	1035	29,08	1,49	30,57	+ 0,85
17.—18. „ 1898 . . .	32,6	950	60	1562,5	31,42	300	840	1037	29,35	1,49	30,84	+ 0,58
18.—19. „ 1898 . . .	32,65	950	60	1562,5	31,42	300	940	1035,5	30,93	1,49	32,42	— 1,00
19.—20. „ 1898 . . .	32,65	950	60	1562,5	31,42	300	870	1037,5	30,25	1,49	31,74	— 0,32
20.—21. „ 1898 . . .	32,6	950	60	1562,5	31,42	300	960	1034	29,60	1,49	31,09	+ 0,33
21. „ 1898 . . .	32,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	848,34	—	—	—	793,42	40,23	833,65	+ 14,69

Während der Hund in den ersten 11 Tagen noch eine positive Stickstoffbilanz von + 13,15 g N hatte, trat in den letzten 16 Tagen fast vollständiges Stickstoffgleichgewicht ein. Die beobachtete positive Stickstoffbilanz von + 1,54 g = 0,1 g N pro Tag ist so klein, dass sie innerhalb des Bereichs der Fehlergrenzen der Untersuchung fällt.

Der Hund hatte, wie schon erwähnt, während der ganzen Versuchsperiode täglich 950 g Fleisch und 60 g Schweineschmalz erhalten.

Die dargereichte Nahrung hatte einen Nutzwerth von 1562,5 Cal = 58,39 g Stickstoff und zwar entsprachen 950 g Fleisch 994,87 Cal = 37,18 g N und 60 g Fett 567,66 Cal = 21,21 g N. Diese Nahrung genügte seinem Nahrungsbedürfniss, denn er war während der Fütterung mit derselben fast genau im Stoffwechsel- und Stickstoffgleichgewicht.

Am 21. Januar 1898, Morgens 8½ Uhr, wurde der Hund durch Verbluten aus der Femoralis getödtet und sein Gesammtstickstoffgehalt bestimmt. Da es in diesem Falle nur darauf ankam, den Gesammtstickstoff zu wissen, so wurde nicht jedes einzelne Organ für sich analysirt, sondern nur das Blut, die Muskeln, das Fell, die Knochen gesondert, die sämmtlichen anderen Organe zusammen.

Die Stickstoffbestimmung dieser Organe ergab folgende Werthe:

Organ	Gesammtgewicht des frischen Organs g	Gesammtstickstoffgehalt des Organs g	% Gehalt an Stickstoff
Blut	2551,7	86,02	3,371
Knochen	4747,3	160,55	3,382
Muskeln	16357,0	470,75	2,878
Gesammt-Eingeweide . . .	3634,6	97,03	2,6695
Fell (ohne Haare)	3211,2	102,89	2,209
	30501,8	917,24	3,07

Der Hund (ohne Haare) enthielt also 917,24 g Stickstoff. Nun befand sich der Hund mit einer Nahrung, deren Calorienwerth = 1562,5 Cal = 58,39 g N war, während der Versuchsperiode im Stoffwechsel- und Stickstoffgleichgewicht.

Das Nahrungsbedürfniss des Hundes, bezogen auf den Stickstoffgehalt desselben, wird also durch folgende Gleichung ausgedrückt:

917,24 g Thierstickstoff = 58,39 g Nahrungsstickstoff,

oder:

1 g Thierstickstoff = 0,0636 g Nahrungsstickstoff, also:

33 g Thierstickstoff = 1 kg stickstoffhaltiger Körpersubstanz = 2,099 g Stickstoff in der Nahrung.

Bei meinem früheren Hund hatte sich bei ähnlicher Ernährung für das Nahrungsbedürfniss, bezogen auf 33 g Thierstickstoff, die Zahl 2,657 g Nahrungstickstoff ergeben, bei dem Pflüger'schen Hund 2,073 g N.

Es ergibt also dieser Versuch eine fast vollständige Uebereinstimmung mit der Pflüger'schen Zahl über die Beziehung des Nahrungsbedürfnisses zur stickstoffhaltigen Körpersubstanz. Wir sind aber Beide der Meinung, dass natürlich ein Zufall vorliegen kann, und dass noch weitere Versuche feststellen müssen, wie gross die Schwankungen sind, welche diese Zahl innerhalb der physiologischen Breite erleidet. Es ist dies um so nothwendiger, als ich bei meinem Versuche über den Einfluss der Schilddrüse eine Zahl gefunden habe, die fast um ein Viertel grösser war. Obwohl die Fütterung des Hundes mit Schilddrüse schon fast 2 Monate ausgesetzt war, so ist es doch nicht ausgeschlossen, dass eine Nachwirkung der Schilddrüse stattgefunden hat, aber auch hierüber müssten weitere Versuche entscheiden.

Herrn Prof. Pflüger spreche ich für die vielfache Hülfe, die er mir hat zu Theil werden lassen, meinen herzlichsten Dank aus.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Bonn.)

Ueber O. Polimanti's Methode der Fettbestimmung.

Von

Dr. **Joseph Nerking.**

Seitdem durch die Untersuchungen von Pflüger und Dormeyer im hiesigen Institute der experimentelle Nachweis geliefert ist, dass selbst durch monatelange Extraction im Soxhlet'schen Apparate nicht entfernt alles Fett aus thierischen und höchstwahrscheinlich auch pflanzlichen Organen und Geweben gewonnen wird, vielmehr stets noch eine nachträgliche peptische Verdauung erforderlich ist, wurde von verschiedenen Seiten der Versuch gemacht, diese allerdings etwas umständliche, aber bis jetzt allein zuverlässige Methode durch eine einfachere und schnellere zu ersetzen. Namentlich aus dem thierphysiologischen Laboratorium der landwirthschaftlichen Hochschule zu Berlin sind in der letzten Zeit mehrere Arbeiten auf Veranlassung von Professor N. Zuntz hervorgegangen, die sich mit der Lösung dieser Frage beschäftigten. Im 70. Bde. dieses Archivs veröffentlichte O. Polimanti eine Mittheilung, wonach es ihm gelungen sein soll, durch Schütteln von Organpulver mit Aether in einer Schüttelmaschine die gesammte Fettmenge zu erhalten. Ich unternahm auf Veranlassung von Herrn Professor Pflüger eine Nachprüfung dieser Versuche, bin jedoch durch die Ergebnisse dieser nicht in der Lage, die Resultate Polimanti's zu bestätigen. Zu meinen Versuchen diente mir Hundefleisch, das von allen makroskopisch sichtbaren Fetttheilchen befreit und von dem ein Theil im Vacuum, ein anderer Theil auf dem Wasserbade bei 70—80° getrocknet worden war. Von dem trockenen Fleische entsprachen 26,88 g = 100 g feuchter Substanz.

Die Versuche führte ich in der Weise aus, dass ich 2—3 g Fleischpulver mit 200 ccm Aether verschieden lange Zeit (90, 96 und 144 Stunden) im Schüttelapparate behandelte, theils mit, theils ohne

Zusatz von Quecksilber, dann aber nicht, wie Polimanti es that, einen aliquoten Theil der stets, besonders aber bei Zusatz von Quecksilber trüb gefärbten Aetherlösung abpipettirte, sondern die ganze Menge des Aethers filtrirte und das ausgeschüttelte Pulver dann der peptischen Verdauung unterwarf. Um dem Einwand zu begegnen, dass bei dem Filtriren durch die spontane Verdunstung des Aethers wieder ein Theil des Fettes in dem Fleischpulver zurückbleiben konnte, bemerke ich, dass ich zum Nachwaschen des Pulvers auf dem Filter ca. 150 ccm kalten Aethers benutzte. Es versteht sich ferner von selbst, dass alle von mir benutzten Reagentien, so besonders das Pepsin — ich benutzte die Marke „Finzelberg" — auf ihren Gehalt an Aetherextract geprüft wurden und sich frei davon erwiesen. Polimanti bemerkt, dass er namentlich bei Zusatz von 2 ccm Quecksilber mit der Schüttelmaschine günstige Resultate erzielt habe; nun wird aber durch die mechanische Bewegung ein Theil des Quecksilbers in einen derartig feinen Zustand übergeführt, dass selbst durch mehrmaliges Filtriren die Lösung nicht klar erscheint. Schüttelt man diese trübe Lösung aber einige Male mit ganz schwacher Salpetersäurelösung durch, so wird sie durchsichtig, die saure Lösung gibt beim Behandeln mit Schwefelwasserstoffwasser stets eine deutliche, wenn auch schwache Quecksilberreaction. Da nun Polimanti, wie bemerkt, nur einen aliquoten Theil der Lösung abpipettirte und diesen höchstwahrscheinlich doch in einem gewogenen Kölbchen direct verdunstete und den Extract zur Wägung brachte, ist die Annahme berechtigt, dass in diesem Falle das Deficit an Fett einfach durch mitgewogenes Quecksilber gedeckt ist. Von einer vorherigen Reinigung des Extractes von Quecksilber gibt wenigstens Polimanti nichts an. Es ist unzweifelhaft, dass durch das energische Schütteln das feinvertheilte Quecksilber, mit dem Fett emulgirt, in den Aether übergeht. Ich gebe nunmehr die Resultate meiner Versuche.

I. Reihe.

Zur Anwendung kam im Vacuum getrocknetes Fleisch mit einem durch Extraction und nachfolgender Verdauung ermittelten Fettgehalt von 3,095 %.

Im Soxhlet'schen Apparat wurden davon durch achtstündige Extraction erhalten: 1,885 %,
durch nachfolgende Verdauung des extrahirten Pulvers:
1,210 %.

Schütteldauer im Apparat: 90 Stunden.

Nummer	Angewandte Substanz in g	Durch Ausschütteln erhaltener Aetherextract		Durch nachfolgende Verdauung des Ausgeschüttelten erhalten		Gesammtmenge Aetherextract		Durch Verdauung des Ausgeschüttelten noch erhaltene Menge in % des Gesammtaetherextracts
		Menge in g	in % feuchten Fleisches	Menge in g	in % feuchten Fleisches	Menge in g	in % feuchten Fleisches	
1.	2,1597	0,1485	1,848	0,0950	1,182	0,2435	3,030	39,009
2.	2,5165	0,1660	1,773	0,1103	1,178	0,2763	2,951	39,918
3.	2,8357	0,1958	1,856	0.1148	1.088	0,3106	2,944	36,956
4.	2,6339	0,1834	1,871	0,1175	1,199	0,3009	3,070	39,055

Nr. 3 und 4 waren mit je 2 ccm Hg geschüttelt, die ätherische Lösung aber dann vor dem Verdunsten mit verdünnter Salpetersäure im Scheidetrichter mehrmals durchgeschüttelt.

II. Reihe.

Schütteldauer im Apparat: 144 Stunden.
Fleisch im Vacuum getrocknet.

Nummer	Angewandte Substanz in g	Durch Ausschütteln erhaltener Aetherextract		Durch nachfolgende Verdauung des Ausgeschüttelten erhalten		Gesammtmenge Aetherextract		Durch Verdauung des Ausgeschüttelten noch erhaltene Menge in % des Gesammtfettes
		Menge in g	in % feuchten Fleisches	Menge in g	in % feuchten Fleisches	Menge in g	in % feuchten Fleisches	
1.	2,1730	0,1432	1,771	0,1103	1.364	0,2535	3,135	43,508
2.	2,0218	0,1379	1,833	0,0975	1,296	0,2354	3,129	41,419
3.	2,2714	0,1537	1,818	0,1106	1,309	0,2643	3,127	41,861

Zur Entscheidung der Frage, ob ein bei höherer Temperatur getrocknetes Fleisch eine grössere Ausbeute an Aetherextract beim Behandeln in der Schüttelmaschine liefere, habe ich noch weitere zwei Versuche angestellt mit Muskelfleisch eines Hundes, das bei 70—80° auf dem Wasserbade getrocknet war.

Es war um so nothwendiger, diesen Versuch anzustellen, als s. Zt. Dormeyer von der Münchener Schule der Vorwurf gemacht worden ist, er habe nur desshalb im Soxhlet'schen Apparate nicht eine vollständige Entfettung des Fleisches herbeiführen können, weil dieses nicht völlig trocken war. Nach meinen Versuchen muss ich diesen Vorwurf zurückweisen.

III. Reihe.

Fleisch bei 70—80° getrocknet. Schütteldauer im Apparat: 96 Stunden.

Nummer	Angewandte Substanz in g	Durch Ausschütteln erhaltener Aetherextract		Durch nachfolgende Verdauung des ausgeschüttelten erhalten		Gesammtmenge Aetherextract		Durch Verdauung des Ausgeschüttelten noch erhaltene Menge in % des Gesammtfettes
		Menge in g	in % feuchten Fleisches	Menge in g	in % feuchten Fleisches	Menge in g	in % feuchten Fleisches	
1.	2,2753	0,1675	1,978	0,1000	1,181	0,2675	3,159	37,385
2.	2,3590	0,1706	1,943	0,1070	1,208	0,2776	3,151	38,337

Ich glaube, durch diese Daten den Beweis geliefert zu haben, dass es durch längere Behandlung von Muskelfleischpulver mit Aether in einem Schüttelapparat ebensowenig gelingt, dasselbe an Aetherextract zu erschöpfen, wie durch monatelange Ausziehung im Soxhlet'schen Apparate. Wesshalb auch gerade durch die mechanische Schüttelbewegung ein grösserer Effect erzielt werden soll, als durch den ständig dem Siedepunkt nahen circulirenden Aether im Soxhlet'schen Apparat, ist nicht recht einzusehen, insbesondere, wenn man berücksichtigt, dass Dormeyer bei seinen Fettbestimmungen vor jeder mehrere Wochen dauernden Extraction immer wieder frisch pulverisirte und so jedenfalls einen viel höheren Grad der Feinheit des Pulvers erzielte, als es durch die Bewegung in der Schüttelmaschine geschehen kann. Nur beiläufig möchte ich auch noch bemerken, dass sowohl bei der Soxhlet'schen wie bei der fehlerhaften Bestimmung im Schüttelapparate die in den Organen vorkommenden Seifen ganz unberücksichtigt gelassen werden; eine Bestimmung dieser, allerdings als Fettsäuren, zusammen mit solchen primär vorhandenen, ist nur durch die Verdauungsmethode möglich.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Professor Pflüger für seine vielfache Anregung und reichliche Unterstützung, welche er mir bei dieser Untersuchung zu Theil werden liess, auch an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank abzustatten.

Die Verrichtungen der Hypophyse.

Erste Mittheilung.

Von

E. von Cyon.

In den „Beiträgen zur Physiologie der Schilddrüse und des Herzens“ [1]) habe ich mich folgendermaassen über die wahrscheinliche Rolle der Hypophyse ausgesprochen: „Unter den Vorrichtungen, welche es dem Gehirne gestatten, in Nothfällen den schützenden Beistand der Schilddrüsen anzurufen, steht in erster Reihe die Hypophyse .... Am leichtesten könnte man sich die physiologischen Beziehungen zwischen den beiden Drüsen in der Weise zurechtlegen, dass Drucksteigerungen in der Hypophyse es vermögen, auf reflectorischem Wege Gefässerweiterungen und Beschleunigungen des Blutstromes in den Schilddrüsen zu bewerkstelligen und dadurch den weiteren Blutandrang vom Gehirn abzulenken. Die Analogien im Baue der Drüsensubstanz der Hypophyse mit dem der Schilddrüse machen es wahrscheinlich, dass auch sie eine Substanz bildet, welche auf das regulatorische Herz- und Gefässnervensystem analog dem Jodothyrin wirkt, möglicherweise eine Phosphorverbindung, welche die erregenden Eigenschaften des phosphorsauren Natrons besitzt.... Durch Exstirpation der Hypophyse wird nur ein Verbindungsglied aus dem automatischen Mechanismus ausgeschaltet, mittelst dessen die Schilddrüsen die Circulation im Gehirn reguliren .... Die Hypophyse wäre also kein Ersatzorgan, sondern ein Hülfsorgan derselben“ ....

Die experimentelle Prüfung dieser Voraussetzungen hat im Wesentlichen deren Richtigkeit bewiesen und auch einige Erweiterungen derselben ergeben, welche jetzt schon über die Functionen der Hypophyse ganz positive und eindeutige Auskunft geben. Diese Versuche waren dreifacher Natur:

1) Dieses Archiv Bd. 70 S. 212 ff.

A. Einspritzungen in die Vena jugularis von Wasser- oder Glycerinextracten aus der frischen oder getrockneten Hypophysensubstanz.

Diese Extracte waren bei verschiedenen Temperaturen gewonnen und verschieden concentrirt eingespritzt. Als die bei Weitem wirksamsten Extracte haben sich solche erwiesen, die aus der getrockneten und gepulverten Hypophyse durch längeres Kochen unter Atmosphärendruck (Bern: 715 mm) erhalten wurden.

Die wirksame Substanz der Hypophyse wird also durch Siedhitze nicht zerstört. Die getrockneten oder frischen Hypophysen, welche ich zu meinen Versuchen benutzte, stammten von Rinder- oder Kalbsgehirnen. Die aus frischen Hypophysen hergestellten Extracte waren auch am wirksamsten, wenn dieselben vorher getrocknet und gepulvert worden waren. Die durch längeres Digeriren bei 38° C. erhaltenen Glycerinextracte von frischen Hypophysen wirkten am schwächsten.

Nachdem solche Extracte in den venösen Kreislauf eingeleitet wurden, nahm sofort die Frequenz der Herzschläge ab; gleichzeitig wurden sie stärker. Auch der Blutdruck stieg. Die Erregung des Vagus dauerte oft Stunden lang. Es geschah oft, dass, nachdem ich 2—4 ccm eines 10%igen, bei Siedhitze gewonnenen Extractes eingespritzt hatte, der Puls (bei Kaninchen) auf 1/4 der vorigen Frequenz sank, während dessen Höhe auf das 10- bis 15fache stieg.

Die Pulse nehmen den Charakter der von mir sogenannten Actionspulse[1]) an. Der Blutdruck steigt nur für kurze Zeit (10—20″), aber zuweilen beträchtlich. Bei schwächer wirkenden Extracten ging oft eine Drucksenkung der Druckerhöhung voraus. So erscheint die kymographische Curve, in grossen Stufen aufsteigend, sehr charakteristisch.

G. Oliver und E. A. Schäfer[2]), die einzigen, welche bisher die Wirkung der Hypophysenextracte untersuchten, haben sie zwar Blutdruck steigernd und den Puls verstärkend gefunden, haben ihnen

1) loc. cit. Cap. 9.

2) Journal of Physiology Vol. 18 und Schäfer's Text-Book of Physiology Vol. 1 S. 947. 1898.

aber keine Wirkung auf die Herzvagi zugeschrieben, sondern nur angegeben, dass sie den Puls nicht beschleunigten.

Vermuthlich waren ihre Dosen zu klein, resp. die Extracte bei zu niederen Temperaturen gewonnen, obwohl sie von „Decocten" reden. Ich habe nur einige Male bei strumösen Kaninchen mit unerregbaren Vagis beobachtet, dass die Herzschläge stärker wurden, ohne verlangsamt zu sein.

Bei Hunden, welche schon heftige Erregungen der Vagi durch die Morphiumnarkose zeigten (72 Herzschläge pro Minute, gezeichnete Excursionshöhe von 100 mm), erhielt ich noch Verlangsamungen um die Hälfte (36 Herzschläge in der Minute) durch Einspritzungen des wirksamen Hypophysenextractes.

Ich habe vorläufig Untersuchungen mitgetheilt[1]), welche die Fähigkeit des Jodothyrins nachgewiesen haben, die lähmenden Wirkungen des Atropins auf die Vagi aufzuheben. Ich fand in ferneren Versuchen, dass einige Cubikcentimeter von Hypophysenextract im Kreislauf des Kaninchens genügen, um die Lähmung der Vagi durch Atropin (0,007 g) zu verhindern. Dieses sonst so machtvolle Gift vermochte zwar die grossen Vaguspulse theilweise aufzuheben, aber nicht die Erregbarkeit der Vagi gegen elektrische Reize zu vernichten.

Es besteht also eine gewisse Analogie mit der von mir gefundenen[2]) Jodothyrinwirkung. Zwischen den Wirkungen des Jodothyrins und der Hypophysenextracte auf die Vagi konnte ich aber folgende zwei Unterschiede feststellen:

1) Das Jodothyrin vermag die geschwächte oder sogar durch Thyreodektomie oder Atropin aufgehobene Erregbarkeit der Vagi in kurzer Zeit wieder herzustellen, ohne dass es aber die Vagi merklich erregt. Das Hypophysenextract dagegen versetzt die Vagi in dauernde Erregung und verstärkt bedeutend die Herzschläge; es verhindert die Wirkung des Atropins, vermag aber die einmal eingetretene Lähmung der Vagi nicht aufzuheben.

2) Das Jodothyrin wirkt vorzugsweise auf die peripheren Enden der hemmenden Herznerven. Das Hypophysenextract dagegen scheint

1) Dieses Archiv Bd. 70.

2) Jodothyrin ist auch im Stande, die durch Nicotin gelähmten Vagi wieder erregbar zu machen, wie ich neuestens constatirt habe.

hauptsächlich die Centren dieser Nerven in der Medulla oblongata zu erregen.

B. Mechanische und elektrische Reizungen der Hypophyse.

Mit Hülfe von Operationsmethoden, welche ich später beschreiben werde, ist es mir gelungen, die Hypophyse sowohl ohne als mit Eröffnung der Schädelhöhle elektrischen und mechanischen Reizungen zu unterwerfen. In ersterem Falle wurde die Sattelhöhle von unten, in letzterem von oben geöffnet. Die angewandten elektrischen Reize waren immer sehr schwach, nie mehr als 100 Einheiten[1]), so dass sie kaum noch von der Zungenspitze empfunden wurden.

Die elektrische Reizung der Hypophyse ruft die nämlichen Veränderungen der Herzschläge und des Blutdruckes hervor wie die Einspritzungen der Hypophysenextracte:

Die Pulsschläge werden verlangsamt und verstärkt; der Blutdruck steigt beträchtlich in die Höhe. Nach Aufhören der Reizung steigt häufig der Druck noch ein wenig, wobei die Pulsschäge nicht unbedeutend beschleunigt werden. Wird die Reizung länger fortgesetzt, so treten tetanische Krämpfe des Rumpfes auf, und das Thier stösst Schmerzensschreie aus.

Die elektrische Reizung controlirte ich durch mechanische, indem ich die Sattelhöhle trepanirte und durch die Oeffnung mittelst feiner Pincette dünne Wattetampons auf die Hypophyse drückte.

Hierdurch erhielt ich in den bei weitaus meisten Fällen dieselben Veränderungen der Blutdruckcurve, wie durch elektrische Reizungen; nur sind die Wirkungen mechanischer Reizung viel geringer. Die Curve beim Druck auf die Hypophyse sieht wie eine in ihren Dimensionen reducirte Curve der elektrischen Reizung derselben aus.

Wenn die Vagi wenig errebar sind, was bei den strumösen Berner Kaninchen häufig der Fall ist, so ist sowohl bei der elektrischen, wie bei der mechanischen Reizung der Hypophyse die Ver-

---

1) Ich verwendete zu diesen Versuchen ein nach Kronecker's Methode graduirtes Inductorium mit dickdrähtiger Secundärspirale, welche Dr. Dubois in Bern empfohlen hat, die zwar nur $1/8$ der physiologischen Reizwirkung (auf Froschnerven) von den dünndrähtigen gibt, aber weniger gefährdet ist durch überspringende Funken bei offener Nebenschliessung.

langsamung wenig ausgesprochen; die Herzschläge werden aber immer verstärkt.

In seltenen Fällen ruft der mechanische Druck auf die Hypophyse eine Depression des Blutdruckes hervor, mit oder ohne gleichzeitige Beschleunigung der Herzschläge. Diese Depression ist entweder nur vorübergehend und geht in eine Drucksteigerung über, oder sie hält während der ganzen Dauer des Druckes an.

Die blosse Eröffnung der Sattelhöhle, wenn sie vorsichtig und ohne Berührung der Hypophyse gelingt, sowie ein leiser Druck auf das uneröffnete Dach dieser Höhle ruft ebenfalls oft eine kleine Blutdrucksenkung hervor mit Beschleunigung.

C. Die Entfernungen der Hypophyse.

Bei der Exstirpation der Hypophyse ging ich von folgender Ueberlegung aus: Die grosse Empfindlichkeit der Hypophyse gegen mechanische Drücke, die Art und Weise, wie die Herzschläge und der Blutdruck von der Erregung durch Aenderungen des Druckes in der Sattelhöhle beeinflusst werden, bewiesen genügend die Richtigkeit der in meiner letzten Untersuchung ausgesprochenen Voraussetzungen, dass dieses Organ bestimmt ist, die Circulationsverhältnisse in der Schädelhöhle zu überwachen, um das Gehirn vor gefährlichen Drücken zu bewahren. Die anatomische Lage der Hypophyse in der am besten geschützten Stelle der Schädelhöhle, in einer von starren Wandungen[1]) gebildeten Höhle, ihre Verbindung durch das Infundibulum mit der Höhle des dritten Ventrikels, ihr ungemeiner Gefässreichthum und die eigenthümliche Lage ihrer Venen, endlich ihre Umgebung von blutreichen Sinus befähigt dieses Organ, von Druckschwankungen in den Behältern von Blut und Cerebrospinalflüssigkeit in der Schädelhöhle beeinflusst zu werden.

Unsere bisherigen Versuche erwiesen nun, dass die Hypophyse

1) Ich fand häufig bei den Berner Kaninchen das fibröse Dach dieser Höhle verknöchert.

auf Druckveränderungen reagirt, und zwar, wie wir gleich sehen werden, in einer Weise, welche die zu starke Blutfülle in der Schädelhöhle beseitigt. Es war daher wichtig, direct festzustellen, ob in der That die Zunahme der Blutfülle in der Schädelhöhle, welche von einem vermehrten Blutzuflusse abhängig ist, wie z. B. bei Verschliessung der Aorta descendens, die schützende Thätigkeit der Hypophyse in Bewegung zu setzen vermag. Der blosse Anblick der Blutdruckcurven, welche durch Erregung der Hypophyse entstehen, schien meine Annahme zu bestätigen; *diese Curven zeigten nämlich eine so auffallende Uebereinstimmung mit der Blutdruckcurve, welche man von der Carotis nach Verschliessung der Aorta erhält*, dass bei mir die Vermuthung aufging, *dass die Erregung der centralen Enden der Nn. vagi, welche durch Druckerhöhungen in der Schädelhöhle entstehen, nicht direct durch Druck auf die Vaguskerne in der Medulla oblongata veranlasst wird, sondern erst reflectorisch von der Hypophyse ausgelöst werde.*

Es bot keine Schwierigkeiten, die Richtigkeit dieser Vermuthung einer experimentellen Prüfung zu unterwerfen: *Man brauchte nur die Compression der Aorta vor und nach der Exstirpation der Hypophyse vorzunehmen.* Das eindeutige Ergebniss aller in dieser Beziehung angestellten Versuche bestätigte vollkommen meine Voraussetzung: *Die Verlangsamung der Herzschläge fällt nach Exstirpation der Hypophyse gerade so weg, wie nach Durchschneidung der Nn. vagi.* Hiermit in Uebereinstimmung habe ich beobachtet, dass auch bei geöffnetem Schädeldache, Compression der Aorta bei gesteigertem Blutdruck Vaguspulse hervorruft. Dieses Phaenomen blieb aus, nachdem die Hypophyse zerstört war.

Vor der Zerstörung der Hypophyse führte ich noch Erregungen derselben durch elektrische Reizungen aus: *Die Veränderungen in der Zahl und Stärke der Herzschläge waren qualitativ und quantitativ fast identisch mit den nach Verschliessung der Aorta beobachteten.* Die Erregung der Hypophyse durch mechanischen Druck ergab Curven, die qualitativ die nämlichen Veränderungen zeigten, aber nur in abgeschwächterer Form. Bei Thieren mit vorgeschrittenen Strumen, wo die Vagusstämme kaum noch erregbar waren, erzeugten sowohl elektrische

Reizungen der Hypophyse wie Verschluss der Aorta nur geringe Verlangsamungen der immer noch verstärkten Herzpulse.

Es unterliegt also keinem Zweifel, dass die Erregungen der Vagi bei gesteigertem Drucke in der Schädelhöhle auf dem Umwege der Hypophyse geschehen, d. h. dass diese Drucke direct dieses Organ erregen und die Reizung der Vagi nur auf reflectorischem Wege von der erregten Hypophyse erzeugt wird. Die Wege dieser reflectorischen Erregungen verlaufen in der Umgegend der Thalami optici, vielleicht im Tuber cinereum.

Aus den hier kurz mitgetheilten Versuchsergebnissen folgt also, dass die Hypophyse eine doppelte Aufgabe zu erfüllen hat: eine chemische und eine mechanische.

Die letztere besteht darin, dass sie von den geringsten Druckveränderungen in der Schädelhöhle beeinflusst wird und sofort die Schutzapparate in Bewegung setzt, welche die Störungen dieser Druckveränderungen zu beseitigen vermögen.

Welches sind nun diese Organe? In erste Linie muss die Schilddrüse gestellt werden, der, wie ich gezeigt habe, die mechanische Rolle zufällt, grosse Blutmengen von der Schädelhöhle abzuleiten [1]). Die Beziehungen zwischen den mechanischen Functionen der beiden Organe sind wohl so aufzufassen, dass die Hypophyse, wie ich mich ausdrückte, „in Nothfällen den schützenden Beistand der Schilddrüsen anzurufen“ im Stande sei. Die durch die Drucksteigerungen erregte Hypophyse kann dies schon allein erzielen, indem sie die Vagi erregt, welche, wie ich in meinen Untersuchungen über die Functionen der Schilddrüse gezeigt habe, eine enorme Beschleunigung des Blutstromes in den Venen dieser Organe erzeugt. Bei den relativ geringen Blutmengen, welche die Gefässe des Gehirns fassen können, ist eine solche Intervention der Schilddrüsen schon an sich vollständig ausreichend, um jede Gefahr für das Gehirn zu beseitigen. Dies will aber nicht sagen, dass diese Organe die einzigen seien, vermöge deren die Hypophyse die drohenden Blutmengen vom Gehirn abzuleiten vermag. Wie ich gezeigt habe, erzeugen Vaguspulse eine Beschleunigung des Blutabflusses auch aus anderen Venen des Körpers, wenn auch in viel geringerem Umfange. Die Hypophyse

1) l. c. Capitel 7.

kann also auch nach Entfernung der Schilddrüsen über die Sicherheit des Gehirns wachen, auch abgesehen davon, dass sie durch ihre chemische Function theilweise einen Ersatz für den Ausfall des Jodothyrins bieten kann, als einer Substanz, welche die Erregbarkeit der regulatorischen Nerven des Herzens und der Gefässe zu erhöhen vermag. Nur für die chemische Function kann daher die Hypophyse theilweise als Ersatzorgan der Schilddrüse gelten. Was die mechanische Rolle der letzteren anbelangt, so ist sie derjenigen der Hypophyse untergeordnet, etwa wie an Eisenbahnen ein Blocksystem den Auslösungsvorrichtungen auf den Stationen.

Die irrige Vorstellung, welche man sich bisher über den Zusammenhang dieser beiden Organe bildete, war Schuld daran, dass Schäfer in seinen Beobachtungen über den Einfluss des Hypophysenextractes auf den Blutdruck einen Widerspruch gegen das Bestehen solcher Beziehungen erblickte. Nicht nur ist die mechanische Rolle der Hypophyse, wie wir gesehen haben, ganz verschieden von derjenigen der Schilddrüse, obgleich beide demselben Zwecke dienen, sondern auch die Verschiedenheit ihrer Lagen innerhalb der Schädelhöhle (Hypophyse) und ausserhalb am Eingang derselben (Schilddrüse) muss es mit sich bringen, dass sie ihren Bestimmungen, der drohenden Blutfülle des Gehirns vorzubeugen, in verschiedener Weise nachkommen. Jodothyrin, schnell in den Blutstrom eingeführt, setzt die Erregbarkeit des Gefässnervencentrums herab und erzeugt so eine vorübergehende Blutdrucksenkung. Das Hypophysenextract im Gegentheil erzeugt eine Druckerhöhung durch allgemeine Contraction der kleinen Arterien. Bei Reizung der Hypophyse erfolgt sofort eine solche Contraction. Man braucht sich nur die unmittelbaren Folgen einer solchen allgemeinen Gefässcontraction für die Druckverhältnisse in der Schädelhöhle zu vergegenwärtigen, um deren grosse Nützlichkeit für die Erleichterung des Gehirns von zu grosser Blutfülle einzusehen; diese Folgen sind: Verminderung der Blutfülle in den kleinen Arterien, geringe Erweiterung der grossen Arterien und Beschleunigung des Blutabflusses aus den Sinus und den Venen des Gehirns. Bei dem geringen Lumen der wenigen grösseren Arterien des Gehirns kann deren passive Erweiterung auf den Hirndruck nur einen zu vernachlässigenden Einfluss ausüben. Eine Erweiterung der kleinen Hirnarterien würde dagegen nicht nur

an sich selbst die Blutmengen in der Schädelhöhle vermehren, sondern dies auch durch den schwächeren Abfluss aus den Venen erzielen[1]).

Man darf nämlich nicht eine Drucksteigerung durch eine allgemeine Contraction der kleinen Gefässe mit solcher, die z. B. durch Verschluss der Aorta oder verhinderten Abfluss aus den Venen entsteht, verwechseln.

Dagegen sind natürlich Erweiterungen in den Gefässbezirken, welche ausserhalb der Schädelhöhle liegen, nur förderlich für die Befreiung des Gehirns von zu grosser Blutfülle; daher ist auch die erregende Wirkung des Jodothyrins auf die Depressores und auf andere Vasodilatatoren in hohem Grade zweckmässig.

Auch die oben hervorgehobenen kleinen Differenzen in der Wirkungsweise der Hypophysenextracte und des Jodothyrins auf die Nn. vagi kann leicht auf dieselben Gesichtspunkte zurückgeführt werden.

Die hier festgestellten Functionen der Hypophyse sind im embryonalen Leben und in den ersten Lebensjahren, wo die zarten Hirntheile eines Schutzes gegen gefährlichen Druck ganz besonders bedürfen, natürlich von noch viel höherer physiologischer Bedeutung als beim erwachsenen Menschen. Dies wird am besten durch die mannigfaltigen Krankheitssymptome bewiesen, welche durch pathologische Veränderungen in der Hypophyse und ihrer Umgebung erzeugt werden, und die unter der Bezeichnung Akromegalie zusammengefasst werden. Mehrere Beobachtungen im Verlaufe meiner Versuche über dieses Organ weisen darauf hin, dass die Functionen der Hypophyse mit der beschriebenen chemischen und mechanischen Rolle nicht erschöpft sind. Auch ist es in hohem Grade wahrscheinlich, dass die reflectorischen Erregungen, welche von der Hypophyse ausgelöst werden, verschieden ausfallen, je nachdem der Druck auf dieselbe von aussen oder von innen her ausgeübt wird. Ich werde auf diese Verhältnisse bei den späteren Mittheilungen näher eingehen. Hier möchte ich nur auf ein Missverständniss aufmerksam machen, welches zu irrthümlicher Beurtheilung der Schilddrüsen- und Hypophysenextracte führte. Aus dem Umstande, dass Jodothyrin nicht immer die krankhaften Folgen der Strumen beseitigt und Hypophysenpastillen sich häufig ohne heilsamen Effect auf den Verlauf der

1) Es existiren daher höchst wahrscheinlich gar keine Vasodilatatoren für die Hirngefässe.

Akromegalie zeigen, ist man von mehreren Seiten zu dem Schlusse gelangt, dass diese Substanzen nicht die wirksamsten Stoffe dieser Drüsen enthalten.

Man vergisst dabei zuerst, dass diese Substanzen im besten Falle nur Ersatz für deren ungenügende Production oder für deren Wegfall sein können. Deren künstliche Zufuhr kann theilweise die chemische Rolle der Drüsen ersetzen; sie kann aber nicht im Stande sein, den Wegfall der mechanischen Rolle dieser Drüsen zu compensiren.

Auf die chemische Natur der wirksamen Substanz der Hypophyse behalte ich mir vor in der nächsten Mittheilung näher zurück zu kommen. Diese Substanz, welche ich als Hypophysin bezeichnen will, hat sich, meiner Voraussetzung gemäss, als eine organische Phosphorverbindung erwiesen.

Ueber einen neuesten A. Appunn'schen Hörprüfungsapparat.

Von

F. Melde in Marburg.

(Mit 1 Textfigur.)

1) In einem neuesten Preisverzeichniss über „Specialitäten in seinem akustischen Institut" zeigt Ant. Appunn in Hanau unter Nr. 14 einen „Hörprüfungsapparat nach Prof. Kessel-Jena an. Derselbe enthält 11 Stimmgabeln von 2000 bis 50000 Schwingungen. Durch ein Hörrohr (Schlauch), das vermittelst einer Schlittenvorrichtung vor jede einzelne Stimmgabel gebracht werden kann, wird jeder Ton direct in den Gehörgang geleitet". Ich habe im vergangenen Jahre diesen Apparat von Appunn bezogen, um die Stimmgabeln auf die Richtigkeit ihrer Schwingungszahlen zu prüfen, wie ich dies bereits im Jahre 1893 und 1894 bei den Stimmgabeln gethan habe, die insbesondere von G. Appunn (Vater) in einem Apparate zusammengestellt wurden, welcher vielfach in die Cabinette der Physiologen und Physiker übergegangen ist. Die Resultate, welche ich bei diesen meinen Untersuchungen über diese Stimmgabeln in unumstösslicher Weise erhielt, und deren Inhalt in Wiedemann's Annalen [1]) in zwei Abhandlungen mitgetheilt wurde, waren sowohl für Appunn senior wie Appunn junior sehr ungünstig, was gerade mir selbst recht nahe ging, bekannt zu machen, da ich seit langen Jahren zur Firma „Appunn" in Hanau Beziehungen hatte und insbesondere mit Appunn sen. über akustische Gegenstände vielfach in Unterhaltung stand. Bei diesem älteren Apparat, von Appunn sen., seiner Zeit insbesondere für die Feststellung der oberen Hörgrenze bestimmt, sind 31 Gabeln eingestellt. Sie sollten die physikalisch-diatonische Tonleiter vom C^4 bis zum E^8 mit 2048 bis 40960 Schwingungen liefern. Die Schwingungszahlen

1) Bd. 51 S. 661—696 und Bd. 52 S. 238—262.

sind unten an die einzelnen Gabeln angeschrieben, und jede Gabel trägt, am Stiel eingefeilt, ihre Nummer. Sieht man diese angeschriebenen Schwingungszahlen an, so muss man eigentlich sofort von eigenthümlichen Gedanken erfüllt werden. Denn Appunn hat den Muth gehabt, z. B. bei den Gabeln F^5, F^6 und F^7 entsprechend die Schwingungszahlen 5461,33, 10922,66 und 21845,33 anzuschreiben, d. h. bei diesen Aufschriften den Glauben zu erwecken, als wäre er im Stande gewesen, die entsprechenden Bestimmungen noch bis zur zweiten Decimale garantiren zu können. Entschuldigen könnte man diese Angaben, wenn man annehmen wollte, es wäre Appunn möglich gewesen, z. B. das F^4 als genau mit 2730,66 Schwingungen vorhanden, zu bestimmen, sodann wäre er im Stande gewesen zu constatiren, dass die Gabel, welche er F^5 nannte, die genaue Octave von F^4, die Gabel, welche er F^6 nannte, die genaue Octave von F^5 u. s. w. war und er demgemäss die Schwingungszahlen einer tieferen Gabel nur mit 2 zu multipliciren habe, um die nächst höhere Octave zu erhalten. Aber bei näherer Ueberlegung muss auch dieses Zugeständniss zu Gunsten des Verfertigers fallen gelassen werden.

2) Zunächst theile ich nun in Kürze einige entscheidende Resultate mit, welche bei meiner oben citirten Untersuchung theils durch meine objectiv „optisch-graphische“ Methode, theils durch meine objective „Resonanzmethode“ bezüglich solcher Appunn'schen Gabeln herauskamen, und wobei die nach diesen beiden, sonst sehr verschiedenen Methoden gewonnenen Schwingungszahlen sich in sehr erfreulicher Uebereinstimmung befanden.

Ein im Marburger physikalischen Cabinet befindlicher Hörprüfungsapparat, s. Z. von Appunn sen. geliefert, mit den bezeichneten 31 Gabeln besitzt ein C^6 mit einer Angabe von 8192 Schwingungen, da ja das C^4 mit 2048 Schwingungen eingestellt ist. Meine mikroskopische Methode ergab für dieses C^6 eine Anzahl von 8162 und die Resonanzmethode eine Anzahl von 8136 Schwingungen. Von der Appunn'schen Angabe weichen diese meine beiden Bestimmungen um —30 und —56 Schwingungen ab, woraus hervorgeht, dass die Appunn'sche Gabel etwas zu hoch war. Mit Rücksicht darauf aber, dass der Procentsatz der Abweichungen nur 0,4 % und 0,6 % beträgt, konnte angenommen werden, dass dieses Appunn'sche C^6 unseres Marburger Apparates nahe als richtig anzusehen war.

Nun stand mir eine zweite Gabel C_0^6 zu Gebot, welche Appunn jun. einem anderen Apparat, aber derselben Art, seines Vaters entnommen und mir übersandt hatte. Diesen Apparat bezeichnete Appunn jun. speciell als einen vorzüglich abgestimmten, so dass er als ein „Normalapparat" gelten konnte. Indem ich für das Marburger C^6 seine von mir nach der optisch-graphischen Methode gefundene Schwingungszahl 8162 zu Grunde legte, fand ich das C_0^6 nach meiner Resonanzmethode zu 6826 Schwingungen. Diese bedeutende Abweichung des $C_0^6 - C^6 = -1336$ Schwingungen überraschte mich so, dass ich auch noch die Bestimmung des C_0^6 nach meiner optisch-graphischen Methode vornahm. Diese ergab 6869, womit der Beweis geliefert war, dass das Appunn'sche sogenannte Normal-C_0^6 in der That um 1336 Schwingungen von Appunn (Vater) zu tief bestimmt worden war. Da 6826 : 8192 sich wie 5 : 6 verhält, so ergab sich, dass Appunn sen. eine kleine Terz in der betr. Tonlage als identisch mit dem Einklang erachtet hatte. Es sollte aber noch anders kommen.

Von dem Normalapparat Appunn's stand mir auch das C_0^7 zur Verfügung mit einer Angabe von 16384 Schwingungen. Eine Doppelbestimmung nach meiner Resonanzmethode, wobei einmal ein Stahl- und dann ein Messingstab verwendet wurde, ergab die Schwingungszahlen 8547 und 8580 im Mittel also 8563. Die Appunn'sche Bestimmung ergab hiernach eine um 7821 Schwingungen zu grosse Zahl, d. h. Appunn sen. hatte das C_0^7 nahezu um eine Octave falsch bestimmt.

Nun wurde das Marburger C^7 geprüft. Die Prüfung nach meiner Resonanzmethode ergab ein $C^7 = 11717$ und musste gleich 16384 sein, d. h. Appunn sen. hatte dieses C^7 um 4667 Schwingungen zu tief bestimmt.

Nach diesen Resultaten wird man beurtheilen können, was davon zu halten ist, wenn Appunn sen. in diesen seinen Hörprüfungsapparaten mit 31 Stimmgabeln auch noch das C_0^8 und C^8 mit 32768 einstellt, wenn er noch E_0^8 und E^8 mit 40960 Schwingungen einzustellen wagt, und wenn er sogar den Muth hat, an F^7 ein 21845,33 und A^7 ein 27306,66 zu schreiben. — Hieraus ergibt sich der Schluss: Appunn sen. war nicht im Besitz einer Methode, welche ihm gestattet hätte, Tonhöhenbestimmungen über 8000 hinaus mit verlangter Sicherheit anzustellen, denn schon bei 8000 Schwingungen passirte ihm ein Fehler von ca. 1300 Schwingungen. Appunn sen.

besass nicht ein Gehör, welches ihm gestattet hätte, z. B. über 8000 Schwingungen hinaus so zu hören, dass er sich hätte erlauben dürfen, zu sagen: ich höre, „dass z. B. dieser Ton die höhere Octave von 8000, d. h. ein Ton von 16.000 Schwingungen ist". Ein solches Ohr gibt es überhaupt nicht, und wer es zu besitzen behauptet, befindet sich nach meiner vollen Ueberzeugung mindestens in Unsicherheit bezw. behauptet etwas, was er namentlich im Interesse wissenschaftlicher Fragen sich scheuen müsste, Andere glauben zu machen.

3) Ich komme nun zu dem eingangs bezeichneten neuesten Hörprüfungsapparat von A. Appunn jun., dem Apparate mit 11 Stimmgabeln, und denke ich mir hierbei, dass Professor Kessel in Jena A. Appunn jun. s. Z. beauftragt hat: einen Hörprüfungsapparat herzustellen, dessen Gabeln mit grösseren Tondifferenzen, als dies bei den im Vorausgehenden in Betracht kommenden Apparaten mit 31 Stimmgabeln der Fall war, auf einander folgten. So hat denn Appunn nur 11 Gabeln eingestellt, welche die Schwingungszahlen:

2000	3000	5000	10000	15000	20000	25000	30000
C^4	G^4	E^5	E^6	H^6	E^7	Gis^7	H^7
35000	40000	50000					
D^8	E^8	Gis^8					

liefern sollten, und denen er auch eine übliche Buchstabenbezeichnung beifügte. Zunächst könnte man nun tadeln, dass die angegebenen Schwingungszahlen doch zu sehr von denen abweichen, welche sonst den Buchstabenbezeichnungen entsprechen, und man z. B. einen Ton von 2000 Schwingungen doch nicht wohl ein C^4 nennen darf, da dieses ja 2048 Schwingungen gibt; dass man ferner einen Ton mit 10000 Schwingungen nicht wohl ein E^6 nennen darf, da dieses ja einer Schwingungsmenge 10240 zugehört. Doch das hätte weiter keine schädlichen Folgen. Halten wir uns an die angegebenen Zahlen und sehen nun zu, wie diese die Prüfung bestanden haben. Ich wandte meine „Resonanzmethode" an. Die betreffende Stimmgabel übertrug hierbei ihre Schwingungen auf das freie Ende eines am andern Ende festgeklemmten Stahlstabes. Die freie Länge dieses Stabes, den man „Resonanzstab" nennen kann, dessen Dicke 1,5 mm und Breite 10 mm betrug, wurde allmälig so verlängert bezw. verkürzt, bis auf der Oberfläche des Stabes scharfe Knotenlinien entstanden. Aus der Zahl dieser Knotenlinien und unter Benutzung einer bekannten Formel für die absolute Zahl N der Transversalschwingungen eines Stabes berechnete sich dann dieses N. Ich muss

hier auf meine oben citirten beiden ausführlichen Abhandlungen verweisen und füge noch hinzu, dass ich demnächst in einer dritten Abhandlung meine Resonanzmethode in ihrer Bedeutung und Anwendung zu weiterer Kenntniss bringen werde. Jetzt handelt es sich nur um die für den Appunn'schen Apparat nach dieser Methode gewonnenen Resultate. Die Methode verlangt, dass eine Vergleichsgabel mit einer bestimmten Schwingungszahl zu Grunde gelegt wird, und war diese Gabel das C^4 des Appunn sen.'schen Hörprüfungsapparates. Dieses C^4 erwies sich gegen ein König'sches Normal-C^4 mit 2048 Schwingungen um 25 Schwingungen zu tief, sodass, da absolute Schwingungszahlen gefunden werden sollten, die Vergleichsgabel C^4 nur zu 2023 Schwingungen angenommen werden durfte. Dies vorausgeschickt, enthält nun die folgende Tabelle die Resultate.

Die Normalgabel C^4 mit 2023 Schwingungen lieferte z. B. bei einer freien Länge des Resonanzstabes gleich 228,0 mm 5 scharfe Knoten. Diese Schwingungsart des Stabes liegt den weiteren Versuchen und Berechnungen zu Grunde. Für jede der elf zu prüfenden Gabeln wurde nun der Resonanzstab mit zwei verschiedenen Schwingungsarten, nämlich mit k' und k'' Knoten eingestellt, denen dann eine durch's Experiment und hiernach durch Rechnung erhaltene Schwingungszahl N' und N'' entsprach, woraus sich schliesslich ein Mittelwerth M ergab. Die mit d überschriebene Columne enthält die $\pm$-Abweichungen meiner Einzelwerthe N' und N'' vom Mittelwerth M und die Columne d% diese Abweichungen in Procenten der Werthe M ausgedrückt. An die Buchstaben des jetzigen Apparates setze ich zum Unterschiede von den Gabeln des älteren Apparates mit 31 Gabeln einen Index.

Gabel	K'	K''	N'	N''	M	d $\pm$	d% $\pm$	A	D
$C,^4$	5	3	1 883	1 893	1 888	5	0,3	2 000	+ 12
$G,^4$	5	4	3 043	3 055	3 049	6	0,2	3 000	— 49
$E,^5$	6	4	4 976	5 099	5 038	62	1,0	5 000	— 38
$E,^6$	6	5	6 332	6 409	6 371	39	0,6	10 000	— 3 629
$H,^6$	7	6	7 639	7 746	7 693	54	0,7	15 000	— 7 307
$E,^7$	7	6	8 343	8 366	8 355	12	0,1	20 000	— 11 645
$Gis,^7$	7	6	9 186	9 311	9 249	63	0,7	25 000	— 15 751
$H,^7$	8	7	9 775	9 878	9 827	52	0,5	30 000	— 20 173
$D,^8$	8	7	10 482	10 604	10 543	61	0,5	35 000	— 25 457
$E,^8$	8	7	11 104	11 326	11 215	111	0,9	40 000	— 28 785
$Gis,^8$	8	7	13 132	13 181	13 157	25	0,2	50 000	— 36 843

Man wird nicht ohne hohe Befriedigung die mit d % überschriebene Columne überblicken, welche zweifellos den Werth meiner Resonanzmethode darthut. Desto schreckenerregender sind die Resultate der Columne *D*. Appunn jun. hat schon bei einer Gabel $E_{,}^{6}$, die er mit 10000 Schwingungen einstellte, sich um ca. 3600 Schwingungen geirrt; er hat eine Gabel $H_{,}^{7}$ um ca. 20000 Schwingungen zu hoch und eine Gabel $Gis_{,}^{8}$ um ca. 37000 Schwingungen zu hoch angegeben. Eine Gehörprüfung, wobei ein Ohr noch die Gabel $Gis_{,}^{8}$ deutlich hört, beweist somit in Wirklichkeit nicht ein Hören von 50000, sondern — nur ein Hören von etwas über 13000 Schwingungen. Es liegt daher auf der Hand, was ein solcher Apparat für ein Unheil stiften kann, falls Der, der ihn handhabt, ihm volles Vertrauen schenkt und ausser Stande ist, die Gabeln auf ihre Richtigkeit hin zu prüfen. Ich für meine Person konnte schon, ohne eine Untersuchung nach meiner Resonanzmethode durchzuführen, in wenigen Minuten constatiren, dass bei dem von Appunn jun. mir gelieferten Apparate sehr bedeutende Fehler vertreten sein mussten. Denn, obwohl ich nicht mehr wie ca. 10000 Schwingungen überhaupt zu hören vermag, hörte ich noch sehr gut die Gabel $H_{,}^{7}$, die mit 30000 Schwingungen figurirt: Leicht erklärlich, denn sie gibt in der That, wie die Tabelle zeigt, nicht 30000, sondern 9800 Schwingungen. —

4) Weiterhin muss ich nun hier noch mehrere Bemerkungen machen über eine Darstellung, welche allerjüngstens Appunn jun. in Wiedemann's Annalen[1]) veröffentlicht hat, und wogegen ich auch sofort der Redaction dieser Annalen eine Erwiderung zusandte, die in Kürze erscheinen wird. Zur leichteren Beurtheilung, vielleicht auch zur Ergänzung dieser meiner Erwiderung in Wiedemann's Annalen, insbesondere für die Leser meiner gegenwärtigen Abhandlung füge ich hier weitere Bemerkungen hinzu. Die eigenen Worte von Appunn lasse ich hierbei je mit Anführungszeichen vorausgehen.

S. 409 Z. 9 v. o.: „Das Gehör lässt sich durch ausdauernde Uebung so heranbilden, erziehen, dass es im Stande ist, einen musikalischen Ton in jeder, auch in der höchsten Tonlage, festzustellen, zu bestimmen.“ Wenn Appunn ein solches Gehör besitzt, warum hat er es selbst bei 6000, 7000 und 8000 Schwingungen

1) Bd. 64 S. 409—416.

nicht fertig gebracht, die Schwingungsmengen richtig zu bestimmen. Er hat ein solches phänomenales Gehör, wie er glauben machen will, nicht, und kein Mensch in der Welt ist durch sein Ohr allein befähigt, Töne von 30000, 40000, 50000 Schwingungen zu bestimmen, ja vielleicht gar nur zu hören.

S. 409 Z. 4 v. u.: „Diese negativen Resultate über Tonhöhenangaben der hohen Stimmgabeln und ganz insbesondere meiner hohen Pfeifchen können nur allein durch die verfehlten Prüfungsmethoden hervorgerufen worden sein." Appunn bezieht diesen Satz hauptsächlich auf eine Untersuchung von Stumpf und Meyer, und muss diese Abhandlung[1]) nachgelesen werden, wenn man über den Zusammenhang weiter unterrichtet sein will. Indem ich nur meine Arbeiten aus den Jahren 1893 und 1894 hier berücksichtige, muss ich die leichtsinnige Behauptung Appunn's, als habe man es hier mit „verfehlten" Prüfungsmethoden zu thun, als vollauf in Nichts zerfallend zurückweisen. Appunn hat weder meine optisch-mechanische Methode, noch meine Resonanzmethode zu handhaben gelernt und kann sich gar kein Urtheil über diese Methoden erlauben. Im Interesse seines Geschäfts habe ich ihm gleich nach dem Erscheinen meiner ersten Arbeit nahe gelegt, dass er sich einmal diese experimentellen Prüfungsmethoden hier in Marburg ansehen könne. Er hat das nicht gethan und ist somit ununterrichtet geblieben. Auf einem so schwierigen Gebiete der Experimentalakustik, wie die Bestimmung der hohen Schwingungszahlen immerhin war und, falls es sich um äusserste Genauigkeiten handelt, auch noch ist, kommt man mit dem Ohr allein nicht zum Ziel: es müssen wirkliche Methoden zur Anwendung kommen, bei welchen das Ohr allerdings, so lange etwa die Differenztöne zum Ziele führen, allein entscheiden und somit bestimmen kann, bei welchen aber, wenn sich diese Differenztöne nicht mehr hören lassen, bis jetzt nur meine beiden Methoden zum erwünschten Ziele führen.

S. 410 Z. 14 v. o.: „Auch die Combinationstöne sind hier nicht mehr mit Sicherheit anzuwenden. Man ist darauf angewiesen, die hohe Tonfolge einigermaassen durch Berechnung des Stufenfalles der Länge der Gabelzinken erreichen zu müssen, wobei man jedoch sein geübtes Ohr immerhin als Hauptstütze zu Hülfe nehmen muss. Durch reiche Erfahrungen kommt man auch zu Hülfsmitteln, die selbst

1) Wiedemann's Annalen Bd. 61 S. 760—779. 1897.

diese Schwierigkeiten erleichtern." Dieser Satz ist nach verschiedenen Richtungen hin sehr merkwürdig. — Ich habe in der That immer geglaubt, Appunn besässe die Fähigkeit, unter Zuhülfenahme der Combinationstöne, also mittelst der Differenztöne, seine Gabeln, soweit es eben möglich ist, abzustimmen. Diesen Glauben muss man aber fallen lassen. Denn bei Tonhöhenbestimmungen bis zu 10 000 Schwingungen muss man nach den Untersuchungen von Stumpf und Meyer zugeben, dass mittelst der Differenztöne eine ausreichend sichere Bestimmung möglich ist. Auch selbst hierzu gehört indess jedenfalls eine individuelle Befähigung und lange Einübung, was wohl anzunehmen ist, da die beiden Genannten ihre sichere Befähigung, die Methode der Differenztöne anzuwenden, einer „jahrelangen" Beschäftigung hiermit zuschreiben. Man sollte in Folge dieser Thatsachen und der Behauptung Appunn's, ein phänomenales Gehör zu besitzen, annehmen, dass er im Stande gewesen wäre, seine Gabeln bis zu 10 000 Schwingungen hin mit erwünschter Sicherheit abzustimmen. Leider ist dies nicht der Fall. Denn die colossalen Differenzen von $E,^6$ an bis $H,^7$ zeigen ja, dass z. B. bei $E,^7$ eine Schwingungszahl, die in Wirklichkeit von mir zu 9249 gefunden wurde, von Appunn als mit 25 000 in die Welt gesandt und somit um 15 751 zu hoch angegeben wurde. Also die Differenztöne zu verwerthen, ist Appunn bis jetzt nicht gelungen, und scheint er dies ja auch selbst zuzugeben, da er sagt: „Auch die Combinationstöne sind hier nicht mehr mit Sicherheit anzuwenden," ein Geständniss, das auch für meine Auffassung von der Schwierigkeit der Verwendung der bezeichneten Methode spricht. Denn immerhin müsste Appunn, als tüchtiger Musiker, wohl vor vielen Andern die Fähigkeit besitzen, Differenztöne noch wahrzunehmen und zu verwerthen, wo Andere sich keine Sicherheit mehr zutrauen dürfen. Diesen subjectiven Schwierigkeiten gegenüber muss ich meinen objectiven Methoden, insbesondere der Resonanzmethode, unbedingt vor der Methode der Differenztöne den Vorzug geben, da diese durchaus keine Einübung auf das Hören von vielleicht sehr leisen Differenztönen voraussetzt; ein völlig Tauber kann die Methode gerade so ausüben, wie ein mit dem besten Gehör Begabter. Dazu kommt nun aber noch, wie ich demnächst an anderer Stelle nachweisen werde, dass meine Resonanzmethode noch weit über die Grenzen hinaus, die der Methode der Differenztöne gesteckt sind, ihre vollständige und sichere Anwendung findet.

Appunn deutet aber in dem citirten Satze, um zum Ziele zu gelangen, noch einen andern Ausweg an, nämlich den, dass man sich angewiesen halten müsse, „die hohe Tonfolge einigermaassen durch Berechnung des Stufenfalles der Länge der Gabelzinken zu erreichen". Das setzt doch wohl voraus, dass Appunn eine Formel benutzt habe, um aus ihr nach gegebenen Längen der Zinken die Schwingungszahlen annähernd zu berechnen. Welches war nun diese Formel? Man würde sehr erfreut sein, sie kennen zu lernen. In meiner Akustik[1]) habe ich eine Formel Mercadier's als

$$N = K \cdot \frac{D}{(L+y)^2}$$

mitgetheilt und dazu weitere Bemerkungen gemacht. Da nun K in dieser Formel eine Constante bedeutet und ich fand, dass die Dicke D bei den 11 Gabeln Appunn's wohl als gleich angenommen werden darf, so würden die Schwingungszahlen N_1 und N_2 zweier Gabeln mit den Zinkenlängen L_1 und L_2 sich verhalten wie

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{(L_2 + y)^2}{(L_1 + y)^2}$$

Indem ich nun die Länge der Zinken bei $C,^4$ und $Gis,^8$, und zwar von der tiefsten Stelle der inneren Umbiegung bis zum oberen Ende, maass, fand ich für $C,^4$ eine Zinkenlänge gleich 46,3 und für $Gis,^8$ eine solche von 14,5 mm. Mit Hinzufügung von y gibt dies 50,1 und 18,3. Legt man den von mir gefundenen Werth 1888 für $C,^4$ zu Grunde, so berechnet sich $Gis,^8$ gleich

$$Gis,^8 = 1888 \cdot \frac{50{,}1^2}{18{,}3^2} = 14150;$$

legt man nach Appunn $C,^4$ mit 2000 Schwingungen zu Grunde, so findet man $Gis,^8$ gleich 14999. Augenscheinlich sind das Zahlen, die von der von mir durch die Resonanzmethode constatirten Schwingungszahl für $Gis,^8$ gleich 13157 sehr beträchtlich abweichen. Aber, hätte Appunn eine Formel benutzt von der Annäherung, die nach Mercadier, unter Voraussetzung meiner Messung der Zinkenlänge, zu erwarten war, so würde er doch immerhin nicht zu einem Fehler von — 36843, sondern nur von 14999 — 13157 = 1842 Schwingungen gekommen sein. Ich habe die Mercadier'sche Formel angewandt, muss jedoch darauf aufmerksam machen, dass die Gabeln bei Mercadier durchweg genau parallelepipedische Zinken

1) Leipzig, F. A. Brockhaus. 1883. S. 162 u. f.

hatten, die unten durch einen Halbcylinder verbunden waren. Von dieser Form weichen die Gabeln Appunn's ja sehr beträchtlich ab, und würde, wenn diese den von Mercadier verlangten Gabeln der Form nach mehr entsprochen hätten, die Uebereinstimmung von Theorie und Erfahrung selbstverständlich viel grösser geworden sein und jedenfalls nicht den Werth 13157 — 14150 = — 993 erreicht haben. Also mit der Berücksichtigung des Stufenfalles der Zinkenlängen ist Appunn nicht zu Stande gekommen.

Man kann auch nach der Mercadier'schen Formel einmal das $(L + y)$ berechnen, wie es für *Gis*,[8] hätte sein müssen, wenn diese Gabel wirklich 50000 Schwingungen geben sollte. Hierfür lautet die Gleichung:

$$(L_2 + y)^2 = \frac{2000}{50000} \cdot 50{,}1^2 = \frac{1}{25} \cdot 50{,}1^2$$

mithin

$$(L_2 + y) = 50{,}1 \sqrt{\frac{1}{25}} = 10{,}02$$

und sonach

$$L_2 = 6{,}2 \text{ mm}.$$

In Wirklichkeit sind die Zinken der Appunn'schen Gis_1^8-Gabel aber 14,5 mm lang!

Es gab für mich im Zusammenhang hiermit aber noch einen andern Beweis, der leicht zu führen war, und der sofort zur Ueberzeugung führte, dass diese Gabel *Gis*,[8] unmöglich 50000 Schwingungen liefern konnte. Ich bin nämlich im Besitze einer von Rud. König in Paris gelieferten Serie von Stimmgabeln, von denen die in beigegebener Figur in natürlicher Grösse links dargestellte Gabel das C^7 mit 16384 Schwingungen darstellt; rechts dagegen zeigt sich die Gabel *Gis*,[8] des Appunn'schen Apparats. Man sehe nun diese beiden Figuren genau an. Misst man die Längen der Zinken vom inneren tiefsten Punkt der Umbiegungen an, so sind erstens die Zinkenlängen sehr nahe dieselben; ferner am oberen Ende ist zweitens die Zinkendicke der Appunn'schen Gabel ein wenig grösser wie die der König'schen; drittens nimmt die Zinkendicke der König'schen Gabel nach unten hin auffällig zu; viertens stehen die Zinken der König'schen Gabel sehr viel näher zusammen wie die der Appunn'schen. Diese Thatsachen bedingen nun folgende Verhältnisse: erstens wegen der gleichen Zinkenlänge würden beide Schwingungszahlen nahezu gleich ausfallen müssen; wegen der zweiten

Thatsache müsste die Appunn'sche Gabel höher sein wie die andere, dies wird jedoch durch die dritte Thatsache nicht nur compensirt, sondern es wird wegen ihr zweifellos die König'sche Gabel beträchtlich höher werden müssen; hierzu kommt noch, dass auch viertens wegen des ungleichen Abstandes der Zinken, gemäss einer Gesetzmässigkeit bei gekrümmten Stäben, die König'sche Gabel höher ausfallen muss. Alles zusammengerechnet müsste hiernach die König'sche Gabel höher wie die Appunn'sche klingen. Was

Fig. 1.



König's C^7 Appunn's *Gis*,^{8}

schreibt aber Appunn seiner *Gis*,^{8}-Gabel für eine Tonhöhe zu? Eine um 50000 — 16384 = 33616 grössere Schwingungszahl, als die von König besitzt!

Zum Schlusse seines oben citirten Satzes bemerkt Appunn noch: „Durch reiche Erfahrungen kommt man auch zu Hülfsmitteln, die selbst diese Schwierigkeiten erleichtern." Welches sind diese Hülfsmittel? Sie könnten wohl Geschäftsgeheimnisse sein; aber die absolut falschen Resultate Appunn's lassen es sofort unmöglich erscheinen, dass solche Hülfsmittel für ihn existirten. Man wüsste auch nicht welche.

S. 410 Z. 18 v. u.: „Es ist Niemandem möglich, die Appunn'sche Stimmgabelreihe, die schon so viel besprochen worden ist, in unmittelbarer Nähe der Schallquelle auf die richtig auf- oder absteigende Tonfolge zu prüfen.“ Appunn verlangt, dass man, um dies zu können, sich in ein Nebenzimmer begeben müsse, damit hier die Nebengeräusche verschwänden. Nun, man wird doch wohl zugeben, dass mit der grösseren Entfernung von der Tonquelle die Intensität der Töne abnimmt. Die Wahrnehmung hoher Töne hängt aber wesentlich von ihrer Intensität ab, und ist es ganz undenkbar, dass mit der Abnahme der Intensität eine bestimmtere Wahrnehmung von Tonhöhen möglich werden sollte. Vor Allem würde die Wahrnehmung der Differenztöne hierbei gänzlich unmöglich werden. Man muss vielmehr, wenn man zwei hohe Gabeln nebeneinander anschlägt und ihre Differenztöne wahrnehmen will, die Gabeln möglichst nahe am Ohr zum Tönen zu bringen suchen. Auch der Umstand, dass Appunn seinem jüngsten Stimmgabelapparat eine Vorrichtung mit einem Hörschlauch und Hörrohr hinzugefügt hat, dürfte doch wohl beweisen, dass er nicht geringere, sondern grössere Intensitäten der hohen Töne für's Ohr erzielen will.

S. 411 Z. 14 v. o.: „Ueber das Exemplar des Berliner Seminars kann ich mir ein Urtheil nicht erlauben, ich kenne es nicht, behaupte aber immerhin, dass es die groben Differenzen, die ihm die Abhandlung[1]) nachweist, nicht zeigt; jedoch ist ein Irrthum oder Versehen bei der Zusammensetzung nicht auszuschliessen.“ Diese letzten Worte Appunn's sprechen deutlich genug für eine Entschuldigung wegen der gemachten Fehler.

S. 411 Z. 10 v. u.: „So lange die Gabelzinke durch Schreib- und Streichvorrichtungen belastet werden muss, kann die Tonhöhe einer hohen Gabel mit Sicherheit nicht bestimmt werden. Ein Feilenstrich schon kann die kleinen Gabeln um Hunderte von Schwingungen verändern, wie viel mehr noch eine Belastung der Gabelzinken.“ Appunn klammert sich hier an völlig bedeutungslose Dinge an. Ich pflege bei hohen Stimmgabeln den Violinbogen zu verwerfen. Denn zur Hervorbringung von Tönen, z. B. über 6000 hinaus bis zu 20000 und 30000 Schwingungen, ist die Anstreichmethode Antolik's mittelst eines nassen Glasstabes, der über ein kleines, an einem Zinkenende oben aufgeklebtes Korkstückchen hin

1) Von Stumpf und Meyer, oben citirt.

und her geführt wird, nur allein zum Ziele führend. Wer diese grossen Unterschiede der Bequemlichkeit und Präcision des Anstreichens nicht kennen gelernt hat, kann über die Bedeutung der Antolik'schen Methode kein Urtheil fällen. Diese Methode, wie ich schon wiederholt hervorgehoben habe, muss als eine bedeutungsvolle Errungenschaft in der experimentellen Akustik betrachtet werden. Ich muss aber nun doch bezüglich der kleinen Belastungen, welche bei meiner Methode die hohen Gabeln bekommen, und deren Bedeutungslosigkeit für die Erreichung des Endziels hier Folgendes auseinandersetzen, wobei ich mich auf meine „Resonanzmethode" beschränke. Bei ihr wird eine Gabel als „Vergleichsgabel" zu Grunde gelegt, und war diese bei der von mir durchgeführten Untersuchung das oben schon bezeichnete C^4 von dem Marburger Apparat Appunn's sen. Dieses C^4 war mit 2048 Schwingungen notirt, doch ergab ein Vergleich mit einem König'schen Normal-C^4, dass das C^4 um 25 Schwingungen zu tief war. Desshalb musste für C^4 als Schwingungszahl bei den Rechnungen durchweg 2023 angenommen werden. Da nun eine solche noch verhältnissmässig tiefe Gabel bequem direct auch mit dem Violinbogen angestrichen werden kann, so bedurfte sie gar keiner Korkbelastung durch das „winklig" ausgeschnittene Korkstückchen, welches ich zuerst in der oben citirten Abhandlung [1]) beschrieb, sondern bedurfte nur des Aufklebens eines zweiten kleinen „keilförmigen" Korkstückchens [2]) am vorderen Ende eines Gabelzinkens. Denn dieses Korkstückchen muss die Schwingungen der Vergleichs-Gabel und der zu prüfenden Gabeln auf das freie Ende des Resonanzstabes übertragen und ist bei allen Gabeln unerlässlich. Es wog nun z. B. dieses Korkstückchen 0,005 g, konnte aber auch noch viel kleiner genommen werden, ja es konnte auch, anstatt ein solches Stückchen nach der ganzen Breite des Gabelzinkens aufzukleben, eins bloss in der halben Breite dieses Zinkens verwendet werden, und es konnte sogar anstatt eines Korkstreifchens nur ein kleines rundes Korkstückchen aufgeklebt werden, dessen Gewicht noch nicht 2 mg betrug.

Nun wurde durch Eintauchen der vorderen Enden der König'schen Gabel C^4_1, welche ja um 25 Schwingungen höher wie C^4 war, das C^4_1 so weit dem C^4 genähert, dass man nach der von mir

---

1) Wiedemann's Annalen Bd. 51 S. 683 und Bd. 52 S. 243.

2) Ibidem Bd. 52 S. 244.

in meiner Akustik [1]) bekannt gemachten Methode die Schwebungen genau zählen konnte. Es erfolgten beim Zusammenklingen von C^4_1 und C^4 136 Stösse in 20 Secunden, mithin in 1 Secunde davon 6,8; sodann wurde das kleine „keilförmige" Korkstückchen von 5 mg am vorderen Ende von C^4 angeklebt; diese Gabel wurde dann noch ein wenig tiefer gegen C^4_1, das ja trotz seiner Kittauflage noch um 6,8 Schwingungen gegen das unbelastete C^4 zu hoch war; es erfolgten jetzt beim Zusammenklang 152 Schwebungen in 20 Secunden; mithin betrug jetzt die Tondifferenz 7,6 Schwingungen. Das kleine „keilförmige" Korkstückchen am einen Ende von C^4 hatte also nur eine Vertiefung um 7,6 — 6,8 = 0,8 Schwingungen hervorgebracht, und konnte somit bei der Gabel C^4 und auch bei den zu prüfenden 11 Gabeln Appunn's von dieser Vertiefung durch das „keilförmige" Korkstückchen, welches die Schwingungen nach dem Resonanzstab übertrug, ganz abgesehen werden, zumal ja, wie erwähnt, das betreffende Korkstückchen noch viel kleiner wie 5 mg Schwere genommen wurde. Also dieser Einwurf von Appunn, dass es sich bei solchen Belastungen um Hunderte von Schwingungen handeln könnte, zerfällt in Nichts.

Aber es handelt sich jetzt noch um einen zweiten Einfluss von einem „winklig ausgeschnittenen" Korkstückchen, über welches der nasse Glasstab geführt werden muss, falls dieser anstatt des Violinbogens zur Anwendung kommt. Dieses Stückchen Belastung wiegt mehr, nämlich etwa 0,03 g. Eine solche Belastung erzielte nun bei dem König'schen C^4_1 eine Tonvertiefung um 1,6 Schwingungen, beim C^5_1 eine solche von 2,0 Schwingungen. Bei den Appunn'schen Gabeln C^4 und C^5 waren die Tonvertiefungen fast doppelt so gross, da diese Gabeln weniger Maasse wie die König'schen besitzen. Bei diesen Gabeln und auch bis zum Appunn'schen $E,^6$ hin, das er mit 10000 Schwingungen eingestellt hatte, das aber 6371 Schwingungen gab, konnte der Violinbogen direct benutzt werden, und fällt demnach hierfür die Frage nach der Bedeutung der Belastung von vornherein ganz weg. Darüber hinaus wurde der nasse Glasstab benutzt. Um nun ein für alle Mal bezüglich des Einflusses der Belastung in's Klare zu kommen, wurde einmal bei den Gabeln $E,^6$ $E,^7$ auf dem Resonanzstab eine scharfe Anzahl Knotenlinien erzielt, und zwar zunächst mit Belastung

1) S. 49.

durch das Korkstückchen und Anstreichen mittelst des Glasstabes. Der Resonanzstab zeigte bei einer freien Länge von 152,3 mm 6 scharfe Knoten, falls die Gabel $E_{,}^{6}$, dagegen 7 scharfe Knoten bei seiner freien Länge von 153,1 mm, falls die Gabel $E_{,}^{7}$ ihre Schwingungen übertrug. Sodann wurden die kleinen Belastungen der winkligen Korkstückchen abgenommen und die Gabeln direct ohne Belastung und mit dem Violinbogen angestrichen. Es zeigte sich nun in der Schärfe der Knotenlinien gegen vorhin gar kein bemerkenswerther Unterschied, und war dies auch von vornherein zu erwarten. Denn wenn bei einer Schwingungsmenge von ca. 6400 und ca. 8400 Schwingungen eine Tonveränderung von ca. $\pm$ 4 Schwingungen erfolgt, wird Niemand erwarten können, dass hierdurch ein in Resonanz zu versetzender Körper in bemerkenswerther Weise anders beeinflusst werden sollte. Aus allen diesen Ueberlegungen und Experimenten ergibt sich die vollkommene Haltlosigkeit von Behauptungen wegen eines bemerkenswerthen Einflusses der kleinen Korkbelastungen, mögen diese Behauptungen von Seiten Appunn's oder sonst woher kommen. Wenn in der obigen Tabelle die Einzelwerthe N' und N'' viel grössere Differenzen, ja z. B. gleich 222 Schwingungen bei der Gabel $E_{,}^{8}$ zeigen, so kommen diese nicht auf Kosten der Belastung durch ein kleines Korkstückchen, sondern sie liegen begründet einmal in der Natur des Resonanzstabes, der zwar sehr regelmässig ausgefallen war, aber selbstverständlich kein Ideal sein konnte; sie liegen ferner begründet in der Längenmessung des freien Stückes des Resonanzstabes, deren Genauigkeit nur etwa bis auf 0,1 mm ging. In dem Maasse, wie diese genauer ermöglicht werden könnte, in dem Maasse, wie der Resonanzstab sich einem idealen nähert, in dem Maasse, wie drittens der Beobachter sicherer annehmen darf, dass die Knotenlinien die grösste Schärfe erreicht haben, wird die Methode Einzelwerthe N' und N'' liefern, die immer weniger von einander abweichen. Soweit ich dies bis jetzt erreicht habe, kann meine „Resonanzmethode" nur mit grosser Genugthuung begrüsst werden und wird es noch mehr werden, wenn ich demnächst über dieselbe weiter berichte und zeige, wie weit diese Methode an Sicherheit und Bequemlichkeit die Methode der „Differenztöne" übertrifft, und zeigen werde, wie sie in ihrer weitergehenden Anwendung die Methode der Differenztöne weit hinter sich zurücklässt. Es ist das auch so klar, dass kaum irgend ein Grund dagegen angeführt werden kann:

Jedermann kann die Ausführung der Methode in kürzester Zeit erlernen; diese ist gänzlich unabhängig vom Hören; sie erfordert die einfachsten und billigsten Hülfsmittel, während nach dem, was Stumpf und Meyer in ihrer Abhandlung bewiesen haben, zunächst zwei Galtonpfeifchen im Preise von ca. 70 Mark und daneben noch zur Erzielung eines constanten Winddrucks ein theures Luftgebläse eingestellt werden muss. Was ferner meine Methode noch so angenehm macht, ist der Umstand, dass die Resultate einer vielleicht ausgedehnten Untersuchung schliesslich in einer Summe von Kartonstreifen vorliegen, welche die freien Längen des Resonanzstabes darstellen. Gibt man diese Längen und die Zahl der jedesmaligen Knotenlinien auf diesen Kartonstreifen an, so entsprechen jeder Gabel hernach ein, zwei oder mehrere Kartonstreifen, wonach man sofort irgend einen Fall wiederholen, nachprüfen oder irgend Einem, der einmal diesen Fall übersehen will, vorführen kann. Wäre es z. B. wünschenswerth: den Einfluss der oben besprochenen Korkbelastungen für die Gabel $E,^7$ zu verfolgen, so suche man aus der Sammlung der Kartonstreifen den aus mit der Aufschrift: Gabel $E,^7$, $k = 7$; $L = 153{,}1$ mm. Stellt man den Resonanzstab mit dieser Länge $L = 153{,}1$ ein und streicht $E,^7$ mit dem Glasstab an, so wird man augenblicklich 7 Knotenlinien auf jenen entstehen sehen, falls vorher trockner Sand in geringer Menge aufgestreut war.

Ueber den Sinn und die Bedeutung der Abweichungen der Werthe N' und N'' in obiger Tabelle wird meine angekündigte weitere Abhandlung das Nöthige enthalten.

(From the Hull Physiological Laboratory of the University of Chicago.)

Physiologische Untersuchungen über Ionenwirkungen.

Zweite Mittheilung.

Von

Jacques Loeb.

Inhalt:

I. Einleitung.

Die hier mitgetheilten Versuche bilden nach drei Richtungen die Fortsetzung der Versuche der ersten Abhandlung[1]). Erstens wird an ausführlicherem Materiale gezeigt, dass die organischen Säuren in der That sich abweichend verhalten von den anorganischen. Während bei den letzteren die physiologische Wirkung bestimmt ist durch die Zahl der Wasserstoff-Ionen, ist das bei den Fettsäuren anscheinend nicht der Fall: Der Dissociationsgrad und die physiologische Wirksamkeit der Fettsäuren gehen nicht parallel. Auf eine Erklärung dieser scheinbaren Abweichung verzichten wir, bis wir über mehr Versuchsmaterial verfügen. Es liegt aber nahe, daran zu denken, dass die Fettsäuren im Muskel eine theilweise Verbrennung erleiden.

Das zweite Capitel gibt die Erklärung für die scheinbaren Abweichungen im Verhalten des Muskels von der van 't Hoff'schen Theorie des osmotischen Druckes, die wir in der ersten Abhandlung veröffentlicht hatten. Wir hatten gefunden, dass ein Muskel, der mit einer 0,7 %igen NaCl-Lösung isosmotisch ist, bei längerem Verweilen

1) Physiologische Untersuchungen über Ionenwirkungen. I. Mittheilung. Versuche am Muskel. Pflüger's Archiv Bd. 69 S. 1.

derselben Wasser entzieht. Ja wir fanden, dass ein solcher Muskel selbst in einer 2,8 %igen NaCl-Lösung Wasser aufzunehmen vermag, wenn er einige Zeit in derselben verweilt. Ich habe schon in der ersten Abhandlung aus diesen scheinbaren Abweichungen von der van 't Hoff'schen Theorie geschlossen, dass der Muskel bei längerem Verweilen in diesen Lösungen chemische Aenderungen erleidet, welche eine Erhöhung des osmotischen Druckes in ihm herbeiführen. Ich bin jetzt in der Lage, die Natur dieser Aenderung genauer zu bestimmen. Es hat sich nämlich herausgestellt, dass der Muskel eine saure Reaction annimmt, wenn er in hyperisotonischen NaCl-Lösungen verweilt, und dass diese Säuerung um so früher eintritt, je concentrirter die Kochsalzlösung ist. Die Säure muss aber, wie die voraufgehenden Versuche gezeigt haben, eine Zunahme des osmotischen Druckes im Muskel bewirken.

In diesen Thatsachen liegt, wie ich in der ersten Abhandlung schon angedeutet habe, der Kern einer Theorie des Oedems. Man hat bisher das Oedem stets nach der Filtrationstheorie aus einer Erhöhung des Blutdrucks oder einer Erhöhung der Filtrirbarkeit des Blutes abgeleitet, ganz besonders aber aus dem ersteren Umstande. Man übersieht dabei aber erstens, dass in dem osmotischen Druck Kräfte von viel grösserer Ordnung für den Flüssigkeitsaustausch vorhanden sind als der Blutdruck; und man übersieht zweitens, dass dieselben Umstände, die im Experiment oder im Krankheitsfalle eine wirkliche oder vermuthete Blutdruckerhöhung zu Stande bringen, gleichzeitig auch chemische Aenderungen in den Geweben herbeiführen, welche den osmotischen Druck in den letzteren erhöhen. Wenn wir nach Venenunterbindung Oedem eines Organs beobachten, so führt man das auf die bei der Unterbindung entstehende Druckzunahme in den Capillaren zurück, übersieht aber, dass die Venenunterbindung Sauerstoffmangel in dem Stauungsbezirk veranlasst, dass bei Sauerstoffmangel Säurebildung stattfindet, und dass Säuren, wie wir nachgewiesen haben, die Gewebe zwingen, Wasser aus einer 0,7 %igen NaCl-Lösung oder dem Blute aufzunehmen. Aber der Sauerstoffmangel kann auch, wie ich in einer früheren Arbeit gezeigt habe, zu morphologischen Aenderungen der Gewebe, z. B. Verflüssigung gewisser fester Gewebselemente führen[1]). Diese Aenderungen, die

1) Untersuchungen über die physiologischen Wirkungen des Sauerstoffmangels. Pflüger's Archiv Bd. 62.

eine eingehendere Untersuchung verdienen, sind ebenfalls wohl hauptsächlich durch die chemischen Aenderungen der Gewebe hervorgerufen, welche meiner Ansicht nach bei dem Oedem nie fehlen und die wirkliche Ursache derselben bilden.

II. Versuche mit organischen Säuren.

Ich hatte in der ersten Mittheilung gezeigt, dass ein Muskel in einer 0,7 %igen NaCl-Lösung in der ersten Stunde sein Gewicht nicht wesentlich ändert, dass er aber, wenn man nur eine Spur einer Säure zufügt, erheblich an Gewicht zunimmt. Diese Gewichtszunahme lässt sich so erklären, dass die Wasserstoff-Ionen der Säure im Muskel fermentartig spaltend wirken und auf diese Weise den osmotischen Druck im Muskel erhöhen. Während nun die Wirkung anorganischer Säuren bei hinreichender Verdünnung quantitativ genau eine Function der Zahl der in der Volumeinheit der Lösung befindlichen Wasserstoff-Ionen war, bestand eine solche Beziehung für die organischen Säuren anscheinend nicht. Ich wies darauf hin, dass dieses abweichende Verhalten von der Dissociationstheorie nur durch secundäre chemische Processe zu erklären sei. Ich habe inzwischen mit einer grösseren Zahl von organischen Säuren hauptsächlich der Fettreihe Versuche angestellt, über die ich kurz berichten will. Es ist klar, dass diese scheinbaren Abweichungen der Wirkung organischer Säuren vom Dissociationsgesetz Material zum Verständniss der chemischen Vorgänge in der lebenden Substanz liefern müssen.

Die Versuche wurden wie früher angestellt. (S. 4 und 5 der ersten Mittheilung.) Je 5 oder 10 ccm einer $^1/_{10}$ normalen Lösung der Säure wurden zu 100 ccm einer 0,7 %igen NaCl-Lösung zugefügt. Der Gastrocnemius eines Frosches wurde in eine solche Lösung gebracht und seine Gewichtszunahme in bestimmten Intervallen bestimmt.

Die Lösungen, die 10 ccm einer $^1/_{10}$ normalen Säure in 100 ccm einer 0,7 %igen NaCl-Lösung enthielten, bei denen also die Verdünnung $V = 110$ war, waren die Resultate constanter als bei den Lösungen, bei denen $V = 205$ war. Tabelle I gibt die Ergebnisse mit einer Reihe von Säuren in verschiedenen Versuchsreihen bei $V = 110$. Die arabischen Zahlen geben die Gewichtszunahme, welche jeder Muskel in Procenten seines ursprünglichen Gewichts in der Lösung nach einstündigem Verweilen erfuhr.

V. = 110.

	I	II	III	IV	V	VI	Mittel
Ameisensäure	5,6 %	4,6 %	5,6 %	5,0 %	4,2 %	5,0 %	5,0 %
Essigsäure	4,7 %	3,4 %	3,3 %	4,7 %	—	—	3,9 %
Trichloressigsäure	7,3 %	6,8 %	—	—	—	—	7,1 %
Milchsäure	6,7 %	6,8 %	8,0 %	8,0 %	6,9 %	7,1 %	7,2 %
Valeriansäure	4,4 %	5,7 %	4,9 %	—	—	—	5,0 %
Mandelsäure	6,5 %	7,5 %	7,8 %	—	—	—	7,2 %
1/2 Oxalsäure	6,4 %	6,3 %	6,0 %	8,8 %	—	—	6,9 %
1/2 Bernsteinsäure	6,1 %	4,7 %	6,0 %	—	—	—	5,6 %
1/2 Apfelsäure	4,0 %	4,4 %	5,4 %	6,8 %	—	—	5,1 %
1/2 RechtsWeinsäure	5,8 %	6,4 %	6,6 %	7,1 %	5,9 %	—	6,3 %
1/2 Traubensäure	6,3 %	5,4 %	6,8 %	—	—	—	6,2 %

Mit dieser Reihe wollen wir den Dissociationsgrad dieser Säuren für die Verdünnung V = 110 vergleichen[1]).

Ameisensäure	0,14	Oxalsäure	0,87
Essigsäure	0,04	Bernsteinsäure	0,08
Trichloressigsäure	0,94	Apfelsäure	0,18
Milchsäure	0,11	Rechts Weinsäure	0,27
Valeriansäure	0,04	Traubensäure	0,27
Mandelsäure	0,19		

Vergleichen wir den Einfluss der Säuren auf die Wasseraufnahme des Muskels mit ihrem Dissociationsgrad, so fällt auf, dass die Säurewirkungen viel weniger von einander abweichen als ihr Dissociationsgrad. So veranlasst Milchsäure mit nur 11 % ihrer Molecüle im Ionenzustand eine ebenso starke Wasseraufnahme des Muskels (7,2 %) wie Trichloressigsäure und Oxalsäure, bei denen fast alle Molecüle dissociirt sind. Ebenso stark wirkt ferner Mandelsäure, obwohl nur 19 % der Molecüle der letzteren bei der von uns angewendeten Verdünnung dissociirt sind. Der Umstand, dass die Unterschiede der Wirkung der verschiedenen Säuren so viel geringer sind als die Verschiedenheit ihres Dissociationsgrades, könnte darauf hinweisen, dass diejenigen Säuren, welche sehr unvollständig dissociirt sind, im Muskel Umwandlungen erleiden in Producte mit stärkerer Dissociation. Ich will jedoch die Discussion dieser Möglichkeiten verschieben, bis ich über weitere Versuchsreihen insbesondere an aromatischen Säuren verfüge.

1) Berechnet nach Ostwald, Ueber die Affinitätsgrössen organischer Säuren. Abh. d. sächs. Gesellsch. d. Wissensch. Bd. 15 S. 89.

Alsdann will ich auch die Zahlenwerthe für eine grössere Zahl von Versuchen mit Säuren für verschiedene Zeitdauer und verschiedene Grade der Verdünnung mittheilen, die ich bereits angestellt habe.

Dass in diesen Versuchen die Säuren vom Muskel wirklich aufgenommen wurden, ist mittelst Titration durch Herrn Slimmer festgestellt worden[1]).

In HNO_3 bei V = 110 betrug die Gewichtszunahme von 1,731 g Gastrocnemius in 1 Stunde 154 mg, also 8,9 % des Anfangsgewichts des Muskels. Das stimmt genau mit unseren früheren Werthen für diese Säure, die im Mittel für diesen Verdünnungsgrad 9 % Gewichtszunahme ergeben hatten. Die Lösung enthielt in diesem Versuch ursprünglich 63,3 mg HNO_3. Nachdem die Muskelmasse entfernt war, ergab sich ein Verlust von 5,1 mg Säure. Für Trichloressigsäure ergab sich in 2 Stunden ein Verlust von 14 mg Säure. Diese Versuche werden fortgesetzt. Neben dem Umstande, dass die Wasserstoff-Ionen in den Muskel eindringen, zeigen die Versuche auch noch, dass die Gewichtszunahme, die der Muskel in der Säurelösung erfährt, um ein Vielfaches grösser ist, als das Gewicht der aufgenommenen Säure beträgt. Es dürfte wohl kaum einem Zweifel unterliegen, dass die Gewichtszunahme des Muskels in Säurelösung fast ausschliesslich, wenn nicht gänzlich, auf Wasseraufnahme beruht. Wie aber die Wasserstoff-Ionen zu einer Wasseraufnahme des Muskels führen können, ist einstweilen nicht mit Bestimmtheit zu entscheiden. Ich halte es noch für am Wahrscheinlichsten — wie ich schon in meiner ersten Mittheilung andeutete —, dass die Wasserstoff-Ionen hydrolytische Spaltungen gewisser Verbindungen im Muskel herbeiführen und dass damit die Zahl der gelösten Molecüle im Muskel und entsprechend der osmotische Druck in demselben vermehrt wird. Dass verdünnte Säuren fermentartig wirken, ist ja bekannt.

III. Erklärung der scheinbaren Abweichungen im Verhalten lebender Gebilde von der van't Hoff'schen Theorie des osmotischen Druckes.

Mit Hülfe der Thatsache, dass Spuren von Säure im Muskel denselben veranlassen, aus einer 0,7 %igen NaCl-Lösung Wasser auf-

---

1) Von Herrn Slimmer wurden auch die in dieser Abhandlung erwähnten Lösungen hergestellt.

zunehmen, lassen sich, wie ich glaube, die scheinbaren Abweichungen von der van't Hoff'schen Theorie des osmotischen Druckes erklären, die wir in der ersten Abhandlung nachgewiesen hatten. In einer 0,7 %igen NaCl-Lösung nimmt ein Froschgastrocnemius im Ruhezustand im Laufe einer Stunde im Allgemeinen weder Wasser auf, noch verliert er Wasser. Der Partialdruck des Wassers im Muskel ist derselbe wie in einer 0,7 %igen NaCl-Lösung. Nun aber fanden wir, dass das nur für die erste Stunde zutrifft. Nach längerem Verweilen nimmt der Muskel auch in der Anfangs isotonischen Kochsalzlösung an Gewicht zu. So hatte in einem Fall ein Gastrocnemius, dessen Gewicht 1,239 g betrug, nach einstündigem Verweilen in einer 0,7 %igen NaCl-Lösung 3 mg an Gewicht verloren. Nach 18stündigem Verweilen aber hatte er 88 mg an Gewicht, also rund 7 % seines Anfangsgewichts, zugenommen. Dabei war aber der Muskel nicht etwa abgestorben und unerregbar geworden, sondern er zeigte noch eine relativ hohe Erregbarkeit. Während seine Reizschwelle Anfangs bei etwas über 420 mm Rollenabstand gefunden wurde, war der Muskel nach 18stündigem Verweilen in der 0,7 %igen NaCl-Lösung noch bei 330 mm Rollenabstand erregbar.

Noch viel auffallender aber war das Verhalten des Muskels in concentrirteren Lösungen, etwa einer 2,8 %igen NaCl-Lösung. Der Muskel verlor hier in der ersten Stunde erheblich an Gewicht, nahm aber bei längerem Verweilen in der Lösung so viel an Gewicht zu, dass sein Gewicht höher war als sein Anfangsgewicht.

Eine dritte Reihe von Beobachtungen kam hinzu, um den Anschein zu erwecken, als ob die van't Hoff'sche Theorie des osmotischen Druckes in lebenden Gebilden eine Ausnahme erleide. In hypisotonischen Salzlösungen erfolgte die Wasseraufnahme des Muskels nicht etwa proportional der osmotischen Druckdifferenz zwischen Muskel und Lösung, sondern rascher als die Differenz zunimmt, und bei höherer Concentration der äusseren Lösung (in hyperisotonischen Lösungen) verliert der Muskel an Gewicht nicht etwa proportional der Differenz des osmotischen Druckes der umgebenden Lösung und des Muskels, sondern weniger rasch als diese Differenz zunimmt. Es wäre natürlich unberechtigt, auch nur einen Augenblick zu vermuthen, dass die van't Hoff'sche Theorie hier nicht gültig sei. Wir müssen vielmehr schliessen, dass die osmotischen Zustände des Muskels in diesen Fällen Aenderungen erleiden, welche

die scheinbaren Abweichungen seines Verhaltens von der Theorie bedingen.

Bekanntlich hat Ranke den wichtigen Nachweis geführt, dass ein thätiger Muskel dem Blute Wasser entzieht[1]). Selbstverständlich entzieht er auch einer 0,7 %igen Kochsalzlösung (die mit dem ruhenden Muskel isotonisch ist) Wasser. Die Thätigkeit ist mit einer Zunahme des osmotischen Druckes im Muskel verbunden. Auf der anderen Seite ist es aber auch bekannt, dass der gereizte Muskel sauer reagirt, insbesondere bei mangelhafter Sauerstoffversorgung. Die Säure muss aber, wie unsere Versuche zeigen, die Wasseraufnahme des Muskels vermehren. Ich will indessen einstweilen nicht behaupten, dass die ganze Wasseraufnahme des thätigen Muskels durch die Wirkung der Säure bedingt sei. Ich hielt es aber für geboten, zuzusehen, ob nicht in den Fällen, in denen der Muskel mehr Wasser aufnahm oder weniger Wasser verlor, als nach der van't Hoff'schen Theorie zu erwarten war, auch eine Säuerung des Muskels nachweisbar sei. Das ist in der That der Fall.

Ich stellte zunächst Versuche mit einer 4,9 %igen NaCl-Lösung an. In der ersten Stunde verlor in dieser Lösung ein Gastrocnemius 17,4 % seines Anfangsgewichts, ein zweiter 16,2 %, ein dritter 14,6 %. Der Versuch wurde fortgesetzt, und 3 Stunden später wurden neue Gewichtsbestimmungen der Muskeln gemacht. Sie hatten seit der letzten Wägung nur 1—3 % ihres Anfangsgewichts verloren. Bei der nächsten Wägung, 2 Stunden später, aber ergab sich eine Gewichtszunahme sämmtlicher Muskeln, der erste hatte 8,3 %, der zweite 6,8 % und der dritte 10 % seines ursprünglichen Gewichts wieder gewonnen. Ich prüfte nun die Reaction des einen der drei Muskeln und sie war deutlich sauer! Von nun an nahm das Gewicht der Muskeln stetig zu, und nach 18stündigem Verweilen in der 4,9 %igen NaCl-Lösung war das Gewicht der Muskeln nicht nur gleich dem Anfangsgewicht, sondern um ca. 20 % höher! Wir haben also die paradoxe Thatsache vor uns, dass ein Muskel bei 18stündigem Verweilen in einer 4,9 %igen NaCl-Lösung derselben Wasser zu entziehen vermag, und zwar beiläufig eben so viel, wie in derselben Zeit einer 0,7 %igen NaCl-Lösung, wenn dieselbe Ameisensäure in der Verdünnung 200 enthält. Aber wir vermögen die paradoxe Thatsache nunmehr zu erklären: Wenn der Muskel in eine 4,9 %ige

1) Ranke, Tetanus. Leipzig 1865.

NaCl-Lösung kommt, so verliert er anfangs Wasser entsprechend der Differenz des osmotischen Druckes in der Lösung und im Muskel. Der Wasserverlust aber bedingt chemische Veränderungen in der Muskelsubstanz. Bei diesen Veränderungen wird eine Säure gebildet. Die Wasserstoff-Ionen dieser Säure (und vielleicht diejenigen Umstände, welche die Säurebildung veranlassen) bedingen eine Erhöhung des osmotischen Druckes im Muskel. Ich habe diese Versuche vielfach wiederholt und modificirt und stets gefunden, dass, wenn der Muskel im Stande war, einer hyperisotonischen Salzlösung Wasser zu entziehen, seine Reaction sauer geworden war.

Handelte es sich um Lösungen von geringerer Concentration als 4,9 %, aber höherer als 0,7 %, so dauerte es natürlich auch viel länger, bis die Reaction des Muskels sauer wurde. Es dauerte aber auch entsprechend viel länger, bis der Muskel anfing, der Lösung Wasser zu entziehen. In einer 1,75 %igen Lösung fuhr ein Muskel noch nach 6 Stunden fort, Wasser zu verlieren, und erst nach 18 Stunden hatte er sein Anfangsgewicht wieder erreicht. Aber um diese Zeit war auch seine Reaction stark sauer. In einer 1,05 %igen Lösung fuhr in einem Falle ein Muskel auch nach 18stündigem Verweilen noch fort, Wasser zu verlieren, seine Reaction war aber neutral. Dagegen fand ich in anderen Fällen, in denen ein Muskel nach langem Verweilen anfing, in einer 0,7 %igen NaCl-Lösung Wasser aufzunehmen, eine schwach saure Reaction des Muskels.

Es ist aber in unseren bisherigen Versuchen noch nicht der stricte Nachweis geliefert worden, dass die Gewichtszunahme des Muskels bei längerem Verweilen in einer isotonischen oder gar hyperisotonischen Kochsalzlösung wirklich bloss auf Wasseraufnahme beruht. Es könnte ja auch möglich sein, dass Kochsalz in den Muskel eindringt, und dass die Gewichtszunahme durch die Zunahme des Muskels an Kochsalz bestimmt ist. Trockengewichtsbestimmungen des Muskels erlauben uns, hierüber zu entscheiden. Bestimmt man das Trockengewicht des einen Gastrocnemius eines Frosches unmittelbar nachdem er herausgeschnitten ist, während man das Trockengewicht des zweiten Gastrocnemius bestimmt, nachdem er 18 Stunden in einer 4,9 %igen NaCl-Lösung gewesen ist und hier an Gewicht erheblich zugenommen hat, so muss das Trockengewicht beider Gastrocnemii angenähert dasselbe sein, wenn die Gewichtszunahme des zweiten Gastrocnemius lediglich durch Wasseraufnahme veranlasst

war. War sie dagegen durch Salzaufnahme veranlasst, so muss der Gewichtsunterschied auch in der Trockensubstanz beider Muskeln bestehen bleiben.

Ich stellte solche Bestimmungen an den Gastrocnemii von 5 Laubfröschen an. Die Gastrocnemii der einen Seite dieser 5 Frösche wogen frisch 61, 51, 47, 47 und 49 mg. Die Muskeln wurden sofort in einen Trockenapparat (bei Zimmertemperatur) gebracht. Die Gastrocnemii der andern Seite wogen 64, 52, 49, 47, 49 mg. Diese Muskeln wurden 12 Stunden lang in eine 4,9 %ige Kochsalzlösung gebracht. Als sie herausgenommen wurden, wogen sie bezw. 88, 69, 62, 67 und 64 mg. Sie hatten also um rund 1/3 ihres Anfangsgewichtes zugenommen. Sie wurden ebenfalls in einen Trockenapparat gebracht. Als nach 24stündigem Trocknen ihr Gewicht mit dem der Muskeln der anderen Seite verglichen wurde (welche 36 Stunden im Trockenapparate verweilt hatten), stellte es sich heraus, dass der Gewichtsunterschied bereits völlig verschwunden war. Die Gewichte derjenigen Muskeln, welche in der 4,9 %igen Kochsalzlösung so erheblich an Gewicht zugenommen hatten, betrugen der Reihe nach 27, 24, 23, 21, 21 mg. Die Gewichte der sofort nach der Herausnahme getrockneten Muskeln betrugen 25, 23, 22, 21 und 22 mg[1]). Es kann danach keinem Zweifel unterliegen, dass die Gewichtszunahme der Muskeln nach längerem Verweilen in hyperisotonischen Kochsalzlösungen fast ausschliesslich auf Wasseraufnahme beruht, was ja vorauszusehen war. Es bleibt noch übrig, das Verhalten des Muskels in einer hyperisotonischen Lösung aufzuklären. Theoretisch sollte man erwarten, dass der Muskel in destillirtem Wasser angenähert zwei Mal so viel Wasser aufnimmt, wie in einer 0,35 %igen NaCl-Lösung. Aber wir fanden, dass, während der Muskel in einer 0,35 %igen NaCl-Lösung ca. 10 % seines Anfangsgewichts in einer Stunde zunahm, die Gewichtszunahme in destillirtem Wasser ca. 30 % betrug. Es müssen also auch hier durch das Eindringen des Wassers Aenderungen in dem Sinne erfolgen, daß der osmotische Druck im Muskel zunimmt. Ich untersuchte, ob auch hier eine Säurebildung im Muskel nachweisbar sei.

---

1) Die hier mitgetheilten Trockengewichtsbestimmungen habe ich während einer Ferienreise im chemischen Institut der University of California ausgeführt. Den Collegen O'Neill, Setchell und Osterhout bin ich für ihre freundliche Unterstützung zu Danke verpflichtet.

Der frisch aus dem destillirten Wasser genommene Muskel war so wasserreich, dass die Säurelösung auch dann nicht hätte ausreichen können, um Lackmus zu röthen, wenn selbst etwa Säurebildung stattgefunden hätte. Liess ich den Muskel aber 1/2 Stunde an der Luft liegen, wobei ein Theil des Wassers verdunstete, so war eine Säurebildung nachweisbar. Man konnte denken, dass hier der Wasserverlust die Säurebildung veranlasst habe. Eine solche Annahme ist nicht gänzlich zurückzuweisen, aber andererseits ist zu beachten, dass der Muskel immer noch erheblich wasserreicher war als ein normaler Muskel. Es ist also möglich, dass auch ein zu hoher Wassergehalt des Muskels Säurebildung veranlasst, es sind aber zur endgültigen Entscheidung noch weitere Versuche nöthig.

Der nunmehr gelieferte Nachweis, dass in einigen Fällen wenigstens der Wasseraufnahme des Muskels eine Säurebildung voraufgeht, dürfte für die Analyse vieler Lebenserscheinungen bedeutungsvoll werden. Wir wissen, dass bei der Muskelthätigkeit Säure gebildet wird, und wir wissen andererseits, dass der thätige Muskel Wasser aufnimmt. Ich habe wiederholt darauf hingewiesen, dass wir in dieser Wasseraufnahme die Ursache für die Arbeitshypertrophie zu suchen haben. Es liegt nahe, aus der Zunahme des osmotischen Druckes die Grösse des Stoffumsatzes bei der Thätigkeit des Muskels zu berechnen. Es ist aber hierbei zu berücksichtigen, dass der Stoffumsatz selbst zu einer Säurebildung führt und dass die Zunahme des osmotischen Druckes bei der Thätigkeit des Muskels zum grössten Theil wohl durch die fermentartige Wirkung der Wasserstoff-Ionen dieser Säure bedingt ist. Es würde alsdann also die Säurebildung für die Activitätshypertrophie von Bedeutung sein. Es liegt aber nahe, zuzusehen, ob nicht allgemein bei Wachsthumsvorgängen der Thiere wie Pflanzen eine Säurebildung im Spiele ist. Diese Säurewirkung könnte eine der Hauptursachen für die dem Wachsthum zu Grunde liegende Zunahme des osmotischen Druckes bilden.

Wir gewinnen ferner durch die Versuche dieses Capitels einen Einblick in die Art und Weise, wie sich Organismen gegen Wasserverlust schützen können oder an Wasserarmuth anpassen können. Man hat in der Biologie dieser Erscheinungen bisher immer nur die Schutzmittel gegen Verdunstung in's Auge gefasst. Unsere Versuche zeigen aber, dass dem Organismus noch eine zweite Gruppe von Schutzvorrichtungen zur Verfügung steht, nämlich Zunahme des

osmotischen Druckes. Wir sahen ja, dass der Wasserverlust im Muskel selbst Säurebildung veranlasst, und dass in Folge dessen der Muskel in die Lage versetzt wird, selbst einer sehr concentrirten Lösung Wasser zu entziehen. Es wäre denkbar, dass die wunderbare Anpassung vieler Pflanzen an einen „trockenen“ Boden und ihre Fähigkeit, demselben Wasser zu entziehen, zum Theil durch Vorgänge dieser Art bedingt ist, und es wäre vielleicht der Mühe werth, zuzusehen, ob bei starker Trockenheit eine Zunahme des osmotischen Druckes resp. eine Säurebildung in den derartig anpassungsfähigen Pflanzen stattfindet.

IV. Zur Theorie des Oedems.

1) Es ist bekannt, dass in der Physiologie geraume Zeit die Bedeutung der Circulation überschätzt worden ist. Ein mechanischer Umstand der Circulation, der Blutdruck, sollte die treibende Kraft für die Secretion und überhaupt für den Flüssigkeitsaustausch in den Geweben bilden. Hätte man damals die vergleichende Physiologie um Rath gefragt, so hätte es sich ergeben, dass Secretionsvorgänge zu den allgemeinen Erscheinungen der Lebensthätigkeit gehören und auch da in der grossartigsten Weise vorkommen, wo die Circulation höchst unvollkommen entwickelt ist, wie bei den Insecten. Der Physiologie würde damit viel Zeitverlust erspart geblieben sein, und vor Allem würde diese Wissenschaft sich fruchtbarer gestaltet haben, als es bei der Ueberschätzung der Blutdruckversuche möglich war. Man musste sich so erst allmälig von der Irrthümlichkeit der Filtrationstheorie für die Secretionsvorgänge überzeugen.

Während in der Physiologie die Filtrationstheorie überwunden ist, hat dieselbe sich in der Pathologie in einem Gebiet bis auf den heutigen Tag behauptet, nämlich in der Theorie des Oedems. Recklinghausen fasst das Ergebniss aller Untersuchungen über das Oedem in folgende Sätze zusammen: „Wie das entzündliche Exsudat stammt auch das hydropische Transsudat in seinen Hauptbestandtheilen (Wasser, Salzen, Albuminaten) aus dem Blute und ist das Product einer gesteigerten Filtration des Blutplasma. Veranlasst kann diese Steigerung auf zweierlei Art sein, 1) durch Herstellung abnormer Druckverhältnisse im Blut und Lymphgefässapparat (Stauungshydrops und actives congestives Oedem), und 2) durch Veränderung des Blutplasmas in chemischer Beziehung, Erhöhung

der Filtrirbarkeit, dyskrasischer (chemischer) Hydrops[1])." Der Blutdruck ist also dieser Theorie nach die Kraft, welche die ödematösen Gewebe mit Flüssigkeit erfüllt. Dem gegenüber behaupte ich, dass die Triebkraft für die Bewegung von Flüssigkeit in den Geweben im Falle von Oedem (wie in allen anderen Fällen) wesentlich in dem osmotischen Druck zu suchen ist, und dass es zu ödematösen Zuständen, d. h. zum Eindringen von Flüssigkeit in die Gewebe, dann kommt, wenn der osmotische Druck in den Geweben höher ist als der des Blutes und der Lymphe. Es müssen also dem Oedem solche Ursachen zu Grunde liegen, welche den osmotischen Druck der Gewebe erhöhen oder den osmotischen Druck des Blutes und der Lymphe verringern.

Die Ueberlegungen, welche a priori zu dieser Auffassung führen, sind eine nothwendige Folge der van't Hoff'schen Theorie des osmotischen Druckes und meines Nachweises der raschen Aenderungen des osmotischen Druckes in den Geweben. Der osmotische Druck einer 0,7 %igen Kochsalzlösung, die mit dem Blute und dem ruhenden Gastrocnemius isosmotisch ist, beträgt 4,9 Atmosphären, ist also vielleicht 20 Mal so gross als der Blutdruck, mit dem wir es im Allgemeinen in unseren physiologischen Versuchen zu thun haben.

Wir haben ferner gesehen, dass schon eine Spur Säure oder Alkali im Muskel den osmotischen Druck so erheblich zu erhöhen im Stande ist, dass der Muskel schon in einer 0,7 %igen NaCl-Lösung ödematös wird. Reizt man einen Muskel, so wird der osmotische Druck im Innern erhöht, und er nimmt Wasser aus der Umgebung auf. Dabei wird auch Säure im Muskel gebildet. Die Zunahme des osmotischen Druckes beträgt nach 10 Minuten langem Tetanisiren im Froschgastrocnemius über 1 Atmosphäre. Wir haben ferner gesehen, dass der Muskel selbst in einer 4,9 %igen NaCl-Lösung nach einigen Stunden anfängt, Wasser aufzunehmen, und dass zugleich seine Reaction sauer wird. Der osmotische Druck einer solchen Salzlösung ist über 30 Atmosphären, es müssen also durch den schädigenden Einfluss des ursprünglichen Wasserverlustes chemische Aenderungen im Muskel stattfinden, welche seinen osmotischen Druck um etwa

1) Allgemeine Pathologie des Kreislaufs und der Ernährung S. 96. Stuttgart 1883.

25 Atmosphären erhöhen! Nun vergleiche man damit einmal die Triebkräfte, welche nach der Filtrationstheorie das Oedem verursachen sollen.

Bei der künstlichen Erzeugung des Lungenödems beim Kaninchen sind in den Versuchen von Welch Drucksteigerungen im kleinen Kreislauf beobachtet worden, die alle erheblich unter $^1/_{10}$ Atmosphäre liegen. Bei der blossen Muskelthätigkeit finden aber schon osmotische Drucksteigerungen im Muskel statt, die mehr als 10 oder 20 Mal grösser sind als die Drucksteigerungen, die nach der Filtrationstheorie schon ausreichen sollen, das hochgradigste Lungenödem zu erzielen. Und doch sind wir bei osmotischen Druckschwankungen von 1 Atmosphäre noch im Bereich der normalen Thätigkeiten. Wenn wir in das Bereich der pathologischen Aenderungen gehen, so finden wir, dass Druckschwankungen von 25 Atmosphären relativ rasch auf chemischem Wege zu erzielen sind. Das ist aber 300 Mal mehr als die Blutdruckschwankung beträgt, die schon ausreichen soll, um das hochgradigste Lungenödem zu erzielen! Diesen Thatsachen gegenüber kann die blosse Filtrationstheorie keinen Bestand haben, und wir müssen den osmotischen Druck berücksichtigen. Dann aber lautet die Theorie des Oedems so, dass alle Umstände, welche bewirken, dass der osmotische Druck gewisser Organe oder Gewebe höher wird als der osmotische Druck des Blutes, Oedem jener Gewebe hervorrufen muss. Diese Umstände sind in letzter Instanz chemische Vorgänge, die entweder zu einer Zunahme des osmotischen Druckes in den Geweben oder zu einer Abnahme des osmotischen Druckes im Blute führen.

Aber damit lassen sich nicht alle Befunde beim Oedem erklären. Wir finden beim Lungenoedem rothe Blutkörperchen und Epithelzellen in den Alveolen. Es ist ausgeschlossen, dass die Ablösung von Epithelzellen und der Bluterguss auf Zunahme des osmotischen Druckes zurückgeführt werden kann. Es ist aber auch wenig wahrscheinlich, dass Blutdruckschwankungen direct zur Ablösung von Epithelzellen führen. Wohl aber ist es denkbar, dass dieselben chemischen Umstände (etwa Säurebildung), welche die Zunahme des osmotischen Druckes veranlassen, auch morphologische Aenderungen der Endothelien der Capillaren und der Epithelzellen der Lungen herbeiführen. Wir wollen nun einige Fälle von Oedem etwas eingehender discutiren.

2) Es ist bekannt, dass Ligatur eines Beines beim Frosch unter-

halb der Ligatur Oedem hervorruft. Ich wollte mich nun überzeugen, ob dabei die Muskeln an Gewicht zunehmen. Handelte es sich beim Oedem bloss darum, dass das Blut aus den Capillaren in die Organe gepresst wird, wie es die Filtrationstheorie verlangt, so wäre kein Grund für eine Gewichtszunahme des Muskels und Oedem vorhanden, wenn man dafür Sorge trägt, dass bei der Ligatur nicht bloss der Abfluss des Blutes aus den Venen des Beines gehemmt ist, sondern auch der Zufluss zum Bein. Nach meiner Theorie des Oedems dagegen liegt die Ursache des Oedems darin, dass im Muskel chemische Aenderungen vor sich gehen, welche eine Zunahme des osmotischen Druckes bewirken. *Diese chemischen Aenderungen müssen durch die Aufhebung der Circulation bedingt sein, und unter den hier sich bietenden Möglichkeiten muss man zuerst an die Folgen des Sauerstoffmangels denken.* Was aber auch die chemischen Aenderungen seien, sie müssen quantitativ mit der Dauer der Unterbindung zunehmen und so den osmotischen Druck der Gewebe u. A. im Muskel stetig erhöhen. Da der Muskel von Flüssigkeit (Blut, Lymphe) umgeben ist, so wird er derselben Wasser entziehen und stetig an Gewicht zunehmen.

Das ist in der That der Fall. Bei einer grossen Zahl von Fröschen wurde die Ligatur auf einer Seite ausgeführt und dann nach einiger Zeit beide Gastrocnemii herausgeschnitten und gewogen. Während im normalen Frosch die beiden Gastrocnemii im Allgemeinen ein gleiches Gewicht haben, ist das Gewicht des Gastrocnemius auf der unterbundenen Seite einige Zeit nach der Operation ausnahmslos grösser, und die Gewichtsdifferenz nimmt zu, je mehr Zeit seit der Unterbindung verflossen ist. Während nach 18 Stunden das Gewicht des ödematösen Muskels um ca. 1—3 % höher ist als das des unversehrten Muskels, ist der Gewichtsunterschied 48 Stunden nach der Unterbindung ca. 15 %. Nach 7 Tagen war der ödematöse Muskel schon 25—40 % schwerer als der normale Muskel des anderen Beins.

In diesen Versuchen war die Circulation im ödematösen Bein völlig unterbrochen. Die Ligatur war so fest gelegt, dass alles zwischen Haut und Knochen durchschnitten war. Das Herz konnte also kein Blut in das Bein hineinpumpen, und die stetige Gewichtszunahme des Muskels konnte nur darauf beruhen, dass im Muskel eine Zunahme des osmotischen Druckes stattfand, welche das Eindringen von Wasser in den Muskel bestimmte.

Ich machte wiederholt Versuche der Art, dass ich 5—12 Stunden

nach der Unterbindung beide Muskeln aus dem Bein herausschnitt und in eine 0,7 %ige Kochsalzlösung brachte. In einer Reihe von Fällen nahm der dem ligirten Bein angehörige Muskel mehr Wasser auf als der andere. Das zeigt, dass nach der Ligatur im Muskel chemische Aenderungen vor sich gehen, die von einer Zunahme des osmotischen Druckes bestimmt sind. Selbstverständlich ist aber im ligirten Bein genug Wasser vorhanden, um dem Muskel zu erlauben, sich mit den umgebenden Flüssigkeiten in's osmotische Gleichgewicht zu setzen. Sobald das geschehen ist, muss sich der ödematöse Muskel einer 0,7 %igen NaCl-Lösung gegenüber ebenso verhalten, wie ein normaler Muskel. Man kann also nur kurze Zeit nach der Ligatur erwarten, dass der herausgeschnittene Muskel einer 0,7 %igen NaCl-Lösung Wasser entzieht, nämlich in dem kurzen Stadium, in dem der osmotische Druck im Muskel anfängt zu steigen, während das Wasser aus der Umgebung des Muskels noch nicht Zeit gehabt hat, in genügender Menge in den Muskel einzudringen. Ich habe versucht, diesen Zeitpunkt genauer zu bestimmen, aber bisher vergebens. Er ist offenbar in verschiedenen Muskeln verschieden.

Die Reaction des ödematösen Muskels habe ich in den ersten Tagen nach der Ligatur zuweilen eine Spur sauer, meist aber neutral gefunden. Eine Woche nach der Ligatur war die Reaction dagegen deutlich sauer. Ich will aber einstweilen noch nicht bestimmt behaupten, dass das Ausbleiben der sauren Reaction des Muskelgewebes beweist, dass keine Säure im Muskel gebildet wurde. Es ist vielmehr möglich, dass das aus den Capillaren ausgesickerte, alkalische Blut die saure Reaction des Gewebes verhinderte. Nach einer Woche dagegen war der Muskel stark sauer.

Nun aber könnte man doch denken, dass es trotz der Ligatur in unseren Versuchen zu einer Zunahme des Blutdrucks gekommen sei, und dass die Erhöhung des Blutdrucks das Oedem verursacht habe; dass dagegen die mit der Unterbindung einhergehenden chemischen Umstände (z. B. der Sauerstoffmangel) nichts mit dem Oedem zu thun haben. Es gibt nun einen einfachen Controlversuch, der es uns erlaubt, zwischen beiden Möglichkeiten definitiv zu entscheiden. Wenn wir nämlich den Muskel aus dem Bein herausschneiden und in eine dem Blute isosmotische Kochsalzlösung thun, so bringen wir die Aufhebung der Circulation und damit relativen Sauerstoffmangel zu Stande, ohne dass der Verdacht eines erhöhten hydrodynamischen oder hydrostatischen Druckes des Blutes besteht. In diesem Versuche

benimmt sich der Muskel in Bezug auf das Oedem genau wie bei der Ligatur: Nach 18 Stunden ist sein Gewicht höher als das des andern Muskels, der unter normaler Sauerstoffversorgung und normalem Stoffwechsel im Körper geblieben war. Dabei ist der ödematöse Muskel noch völlig erregbar. Setzt man den Versuch länger fort, so nimmt die Differenz des Gewichtes stetig zu, wie in dem ligirten Bein. Diese Thatsache lässt keinen Zweifel daran, dass die Wasseraufnahme des Muskels bei der Ligatur der Gefässe bedingt ist durch chemische Aenderungen im Muskel, die vielleicht durch Sauerstoffmangel bedingt sind.

Nun beobachtet man aber in einem ligirten Froschschenkel noch andere Veränderungen. Der Muskel erscheint alsbald blutig. Auch beim Lungenödem sind ja die Alveolen von einer blutigen Flüssigkeit erfüllt. Ich bin geneigt mir vorzustellen, dass diese Erscheinungen ebenfalls durch chemische Substanzen (Gifte) hervorgerufen werden, welche die Gewebe morphologisch ändern. Zu diesen veränderten Geweben dürften u. A. auch die Endothelien der Capillaren gehören. Ich werde zu dieser Ansicht auf Grund meiner Versuche über Sauerstoffmangel geführt. Entzieht man den sich furchenden Eiern von Ctenolabrus den Sauerstoff, so lösen die Wände der Furchungszellen sich auf, und der Keim geht in den Zustand des ungefurchten Protoplasmas zurück. Gestattet man dem Sauerstoff wieder Zutritt, so bilden sich Zellwände wieder von Neuem und die Furchung kann weiter gehen[1]). Man kann sich ferner an gewissen Infusorien leicht überzeugen, dass Sauerstoffentziehung in kurzer Zeit eine Verflüssigung ihres Körpers zur Folge hat. Budgett hat das in meinem Laboratorium nachgewiesen[2]). Auch der Umstand, dass Amöben bei Sauerstoffentziehung Kugelform annehmen, ist von Quincke so gedeutet worden, dass dabei eine Verflüssigung fester Bestandtheile des Amöbenkörpers stattfindet. Ich halte diese Annahmen Quincke's nach meinen Beobachtungen für durchaus richtig. Es ist klar, dass, wenn derartige Veränderungen

1) J. Loeb, Untersuchungen über die physiologischen Wirkungen des Sauerstoffmangels. Pflüger's Archiv Bd. 62.

2) Budgett, On the Analagy between the effects etc. American Journal of Physiology Vol. 1.

an den Endothelien der Capillaren möglich wären, es zu einem Aussickern von Blut aus den Capillaren leicht kommen könnte.

Dass bei Sauerstoffmangel der Stoffwechsel sich ändert, wird wohl nach den Arbeiten Pasteur's Niemand mehr bezweifeln. Es ist übrigens im Laboratorium von Hoppe-Seyler durch Araki direct nachgewiesen worden. Araki hat gezeigt, dass bei Sauerstoffmangel beträchtliche Mengen von Milchsäure und Zucker im Harn erscheinen[1]). Gerade die Bildung von Milchsäure ist vielleicht von Bedeutung für das Oedem des Muskels. Der aus dem Körper geschnittene Muskel geräth ja in den Zustand der Sauerstoffarmuth, und wir sahen ja auch, dass seine Gewichtszunahme bei längerem Verweilen in physiologischer Kochsalzlösung oder Lösungen von starker Concentration von einer Säuerung begleitet ist. (Ich kann aber einstweilen nicht behaupten, dass die im letzteren Falle gebildete Säure Milchsäure ist.)

Von einigen Autoren wird angegeben, dass bei der Entstehung des Oedems nervöse Einflüsse eine Rolle spielen. So soll Venenunterbindung mit gleichzeitiger Nervendurchschneidung sicherer Oedem hervorrufen als blosse Venenverbindung allein. Es ist noch zu untersuchen, ob die Angabe richtig ist. Sie ist natürlich im Sinne der Filtrationstheorie benutzt worden. Aber wir kennen ja im Falle der Secretionsnerven directe, chemische Wirkungen der Nerven. Bei dem Mangel bestimmter Vorstellungen über die Natur des Innervationsvorganges ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass viele, vielleicht alle Uebertragungen des Erregungsvorganges vom Nerven auf Organe chemischer Natur sind. Gaule hat diese Vermuthung ausgesprochen. Er stellt sich vor, dass der Nerv eine besondere Substanz ausscheidet. Das ist nicht einmal nöthig. Findet die Uebertragung der Erregung auf elektrischem Wege statt, so muss eine chemische Wirkung durch die Ionen stattfinden.

Das Lungenödem hat durch Welch eine gründliche experimentelle und theoretische Analyse erfahren[2]). Welch's Abhandlung steht freilich auf dem Boden der Filtrationstheorie: „Wenn der rechte Ventrikel fortfährt, Blut in die Lungengefässe hineinzupumpen, während der linke nur einen Bruchtheil davon forttreiben kann, wenn der Unter-

---

1) Araki, Ueber die chemische Aenderung der Lebensprocesse in Folge von Sauerstoffmangel. Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 19.

2) Zur Pathologie des Lungenödems. Virchow's Archiv Bd. 72. 1878.

schied zwischen den Kräften der beiden Ventrikel einen gewissen Grenzwerth überschritten hat, dann muss, so scheint mir, der Druck in den Lungencapillaren so hoch steigen, dass Lungenödem die Folge wird." (S. 407.) Dieser Schlussfolgerung von Welch können wir uns nicht vollkommen anschliessen.

Wir zweifeln nicht im mindesten daran, dass Stauung des Blutes in den Lungen die Entstehung des Oedems begünstigt und beschleunigt, aber ich glaube, dass chemische Aenderungen in den Geweben die wesentliche Ursache für das Lungenödem sind. Ich will zwei Umstände hier anführen, die, wie mir scheint, schon jetzt für die Richtigkeit dieser Ansicht sprechen.

Die eine Thatsache besteht darin, dass, während es beim Kaninchen sicher gelingt, durch Unterbindung der Hauptstämme der Aorta Lungenödem hervorzurufen, dieselben Umstände beim Hunde nie oder nur höchst selten diesen Erfolg haben. Das hat schon Welch beobachtet, und Sahli hat es bestätigt[1]). Ueber einen fundamentalen Unterschied in den hydrodynamischen Verhältnissen ist bei beiden Thieren meines Wissens nichts bekannt, dagegen wissen wir, dass sie fundamentale Unterschiede ihres Stoffwechsels aufweisen. Und diese letzteren Unterschiede sind derart, dass sich daraufhin mit ziemlicher Sicherheit aus meiner Theorie des Oedems hätte ableiten lassen können, dass es viel leichter sein muss, beim Kaninchen als beim Hunde Lungenödem hervorzubringen. Wir haben gesehen, dass schon verschwindend kleine Säuremengen den Muskel zwingen, grosse Quantitäten Wasser aus einer physiologischen Kochsalzlösung aufzunehmen. Die Versuche von Araki beweisen ferner, dass bei Sauerstoffmangel Säuren im Organismus bestehen bleiben, die normaler Weise oxydirt werden würden. Walther hat nun gezeigt, dass Kaninchen und Hunde einen typischen Unterschied im Verhalten gegen Säuren zeigen[2]). Während Kaninchen bei genügender Säurefütterung sicher zu Grunde gehen (und zwar unter den Symptomen schwerer Dyspnoe), sind die Hunde fast immun gegen Säuren. Der Mechanismus der Immunität besteht darin, dass beim Hunde die Säurezufuhr eine Mehrbildung von Ammoniak veranlasst, wodurch die Säure neutralisirt wird. Wir

1) Sahli, Zur Pathologie und Therapie des Lungenödems. Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie Bd. 19.

2) Walther, Untersuchungen über die Wirkung der Säuren auf den thierischen Organismus. Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie. Bd. 7.

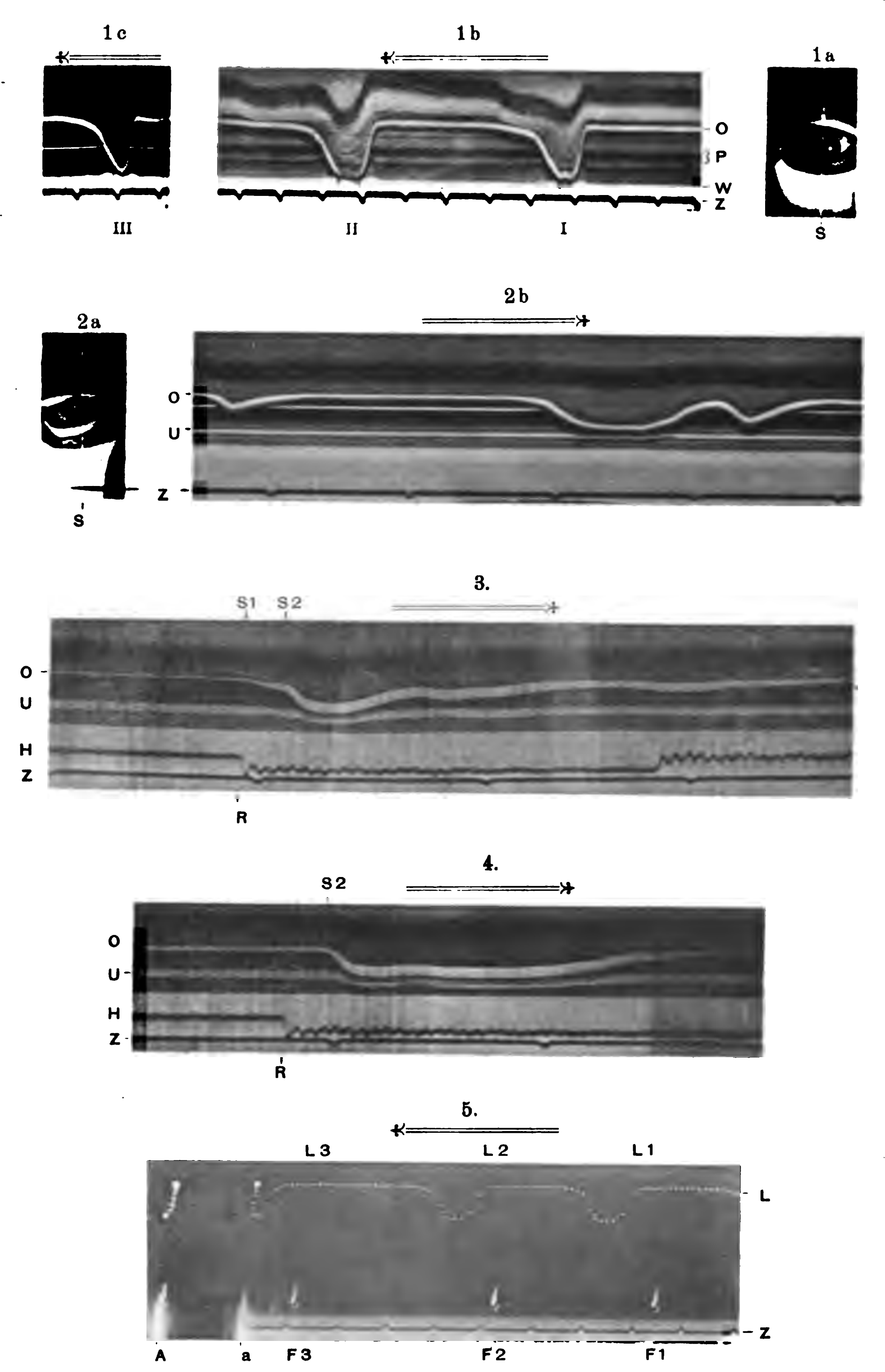
brauchen übrigens nicht so weit zu gehen und die Entstehung des Oedems direct auf die Säurebildung zurückzuführen, die nach Araki's Versuchen nach Unterbindung der Aorta besonders in den Muskeln stattfindet. Es genügt, aus Walther's Versuchen den Schlüss zu ziehen, dass im Stoffwechsel des Kaninchens und des Hundes chemische Verschiedenheiten bestehen, die es im Sinne unserer Theorie begreiflich erscheinen lassen, dass Aortenunterbindung beim Kaninchen leicht, beim Hunde schwer oder gar nicht Lungenödem hervorruft.

Die zweite Thatsache ist von Sigmund Mayer gefunden und von Sahli bestätigt. Beide Autoren geben an, dass Curare das Zustandekommen des experimentellen Lungenödems erschwert, und dass Krämpfe (wie sie z. B. bei Erstickung vorkommen) das Zustandekommen des Oedems erleichtern. Mayer und Sahli stellen sich vor, dass die Krämpfe die Stauung des Blutes in den Lungen und so den Blutdruck und die Filtration vermehren. Sie übersehen, wie alle Anhänger der Filtrationstheorie, die chemische Seite der Vorgänge in den Geweben. Die Muskeln sind nämlich der hervorragendste Sitz der Oxydationsvorgänge, und gerade in den Muskeln werden bei Sauerstoffmangel die schädlichen Substanzen (z. B. Säuren) gebildet, die einen Einfluss auf das Zustandekommen des Oedems haben können. Gibt man Curare, so wird der Stoffwechsel des Muskels herabgesetzt, und es werden desshalb weniger giftige Substanzen in's rechte Herz und in die Lungen kommen. Umgekehrt müssen Krämpfe eine Zunahme dieser schädlichen Substanzen bewirken und darum die Entstehung des Oedems fördern. Es stimmt also durchaus mit unserer Theorie, dass Curare die Entstehung des Oedems bei theilweiser Unterbindung der Aeste der Aorta verhindert und dass Erstickungskrämpfe seine Entstehung befördern.

Ich halte es danach für ebenso unrichtig, das Oedem im Sinne der Filtrationstheorie einzig und allein aus einer Zunahme des Blutdrucks oder einer Zunahme der Filtrationsfähigkeit des Blutes abzuleiten, wie es irrig war, die Secretionsvorgänge nach der Filtrationstheorie zu erklären. Die Entstehung des Oedems ist vielmehr in erster Linie durch chemische Aenderungen in den Geweben bestimmt. Diese chemischen Aenderungen beeinflussen erstens den osmotischen Druck in dem Sinne, dass derselbe in den Geweben (welche ödematös werden) höher wird als im Blut und der Lymphe. Zweitens aber können diese chemischen Aenderungen in den Geweben auch morphologische Aenderungen herbeiführen. Wie in den

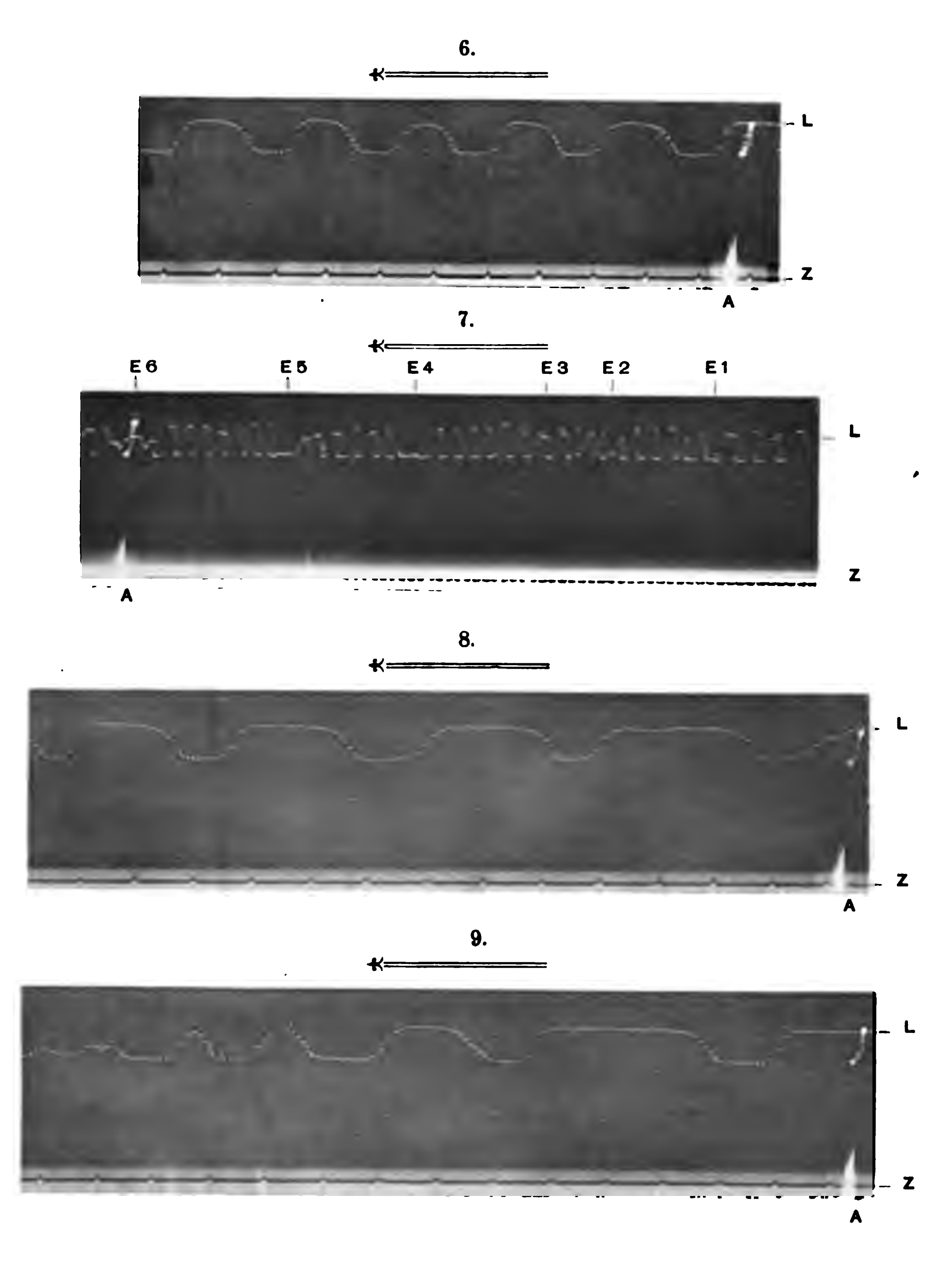
Geweben der osmotische Druck durch Alkalien, Säuren, Wasserverlust gesteigert wird, darüber gibt die vorliegende und die voraufgegangene Mittheilung über Ionenwirkungen Auskunft. Wie geringe chemische Aenderungen zur Veränderung resp. Verflüssigung von Gewebsbestandtheilen führen, folgt aus meiner Arbeit über die physiologischen Wirkungen des Sauerstoffmangels, sowie aus den Versuchen von Budgett[1]).

1) American Journal of Physiology Vol. 1 p. 98.



Lichtdruck von Kühl & Co., Frankfurt a. M Verlag von Emil Strauss, Bonn.

Tafel II.



Lichtdruck von Kühl & Co., Frankfurt a. M. Verlag von Emil Strauss, Bonn.

(Aus dem physiologischen Institut zu Leipzig.)

Zur Kenntniss des zeitlichen Ablaufes der Lidschläge.

Von

Dr. med. **Siegfried Garten.**

(Hierzu die Tafeln II, III.)

Ueber den zeitlichen Verlauf des Lidschlages finden sich in der Literatur keine Angaben. Die den Lidschlag betreffenden Veröffentlichungen Exner's[1]), Franck's[2]) und in neuester Zeit Mayhew's[3]) beziehen sich nur auf die Reflexzeit des Blinzelns und auf die Frage, ob bei willkürlichem oder reflectorischem Lidschlusse eine Querleitungszeit vorhanden ist. Da der Verlauf des Lidschlages, namentlich die Bestimmung der Zeitdauer, während der die Pupille vom Lide verdeckt ist, für physiologisch-optische Fragen (Beziehung des Lidschlages zur Erholung des Sehorgans und zu den Nachbildern[4])

1) S. Exner, Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Processe, 2. Abhandlung: Ueber Reflexzeit und Rückenmarksleitung. Pflüger's Archiv Bd. 8. 1874.

2) C. Franck, Ueber die zeitlichen Verhältnisse des reflectorischen und willkürlichen Lidschlusses. Inauguraldissertation. Königsberg 1889.

3) David P. Mayhew, On the time of reflex winking. Journal of exp. Med. Vol. II S. 35 f. 1897.

4) Abgesehen von älteren Angaben von Aubert und Helmholtz über das Verhältniss des Lidschlages zu den Nachbildern, wurde in neuerer Zeit durch Fick und Gürber (Bericht der 20. Versammlung der ophthalm. Gesellschaft zu Heidelberg 1889 S. 54 f.; Ueber Erholung der Netzhaut, v. Graefe's Archiv Bd. 36 H. 4 S. 244, desgl. Bd. 38 H. 1 S. 118) die Ansicht aufgestellt, dass die Lidschläge durch einen Liddruck zur Entleerung der Netzhautvenen und hierdurch zu einer Erholung der Netzhaut führten. Hering dagegen (Ueber Ermüdung und Erholung des Sehorganes, v. Graefe's Archiv Bd. 37 H. 3 S 1) zeigte, dass wohl durch Lidschläge eine Erholung eintritt, ihr Einfluss aber nur der ist, den eine periodische Verdunklung von Lidschlagsdauer haben würde.

nicht ohne Interesse ist, andererseits die Bewegungsform des Lidmuskels bei der relativen Kleinheit der mitbewegten trägen Massen am ehesten ein Bild von der durch natürliche Innervation ausgelösten Muskelbewegung gibt, so sollen in folgender kurzer Mittheilung einige diesbezügliche Versuche veröffentlicht werden.

Da der Lidschluss durch die verschiedensten Veranlassungen in sehr verschiedener Weise erfolgt, so erscheint es angezeigt, hier zunächst die wichtigsten Formen anzuführen:

I) Längeres Zukneifen der Lider, herbeigeführt durch den Willen oder durch andauernde Trigeminus- oder Opticusreizung;

II) Kurzer Lidschluss (Lidschlag, Blinzeln) willkürlich oder durch kurze Nervenreizung herbeigeführt;

III) Andauernder sanfter Lidschluss (Schlaf und Wille).

Dass zwischen I und II zahlreiche Uebergänge bestehen, braucht nicht besonders hervorgehoben zu werden. Ausser diesen Formen des Lidschlages kommen aber, von pathologischen Erscheinungen ganz abgesehen, kurze abortive Lidschläge vor. Dieselben wurden zuerst von Fick[1]) beobachtet, der sie für vom Willen unabhängig hielt. Dieselben bestehen darin, dass das obere Lid gar nicht bis zum Pupillargebiet herabsinkt, sondern schon eher wieder gehoben wird.

Von diesen verschiedenen Formen des Lidschlages wurde in Folgendem vornehmlich der zeitliche Ablauf des willkürlichen und reflectorischen Lidschlages näher untersucht.

Zum Aufschreiben der Lidbewegung war die von Exner und nach ihm von Franck (l. c.) zur Bestimmung der Reflexzeit angewendete Methode nicht brauchbar. Exner übertrug die Lidbewegung durch einen am oberen Lide befestigten Faden auf einen Hebel, welcher auf einem, von einem Zahnbrettchen getragenen Gestelle leicht um eine Achse drehbar war und mit letzterem gegen ein Kymographion angeschoben werden konnte. Durch diese Anordnung konnte eine Zerrung des oberen Lides und hierdurch eine Störung der Bewegung eintreten. Mayhew vermied daher bei seinen Versuchen die mechanische Aufzeichnung Exner's. Er brachte statt dessen am oberen Lide einen leichten elektrischen Contact an, der bei der geringsten Senkung des Lides geöffnet wurde. Dieser Moment wurde mittelst eines Desprèz'schen elektrischen Signales auf einer

1) Fick und Gürber, v. Graefe's Archiv Bd. 34 H. 4 S. 257 und 20. Vers. der ophth. Gesellsch. zu Heidelberg S. 57.

rotirenden Trommel verzeichnet. In ähnlicher Weise markirte der gleiche Signalmagnet den Moment der mechanischen Reizung. Der Zeitunterschied beider Ereignisse ergab die Reflexzeit [1]) für mechanische Reizung. Dieser Zeitwerth wurde durch dieses Verfahren wohl mit hinreichender Genauigkeit festgestellt, dagegen war es nicht möglich, mit demselben den zeitlichen Verlauf des Lidschlages zu verfolgen. Dieses gelingt aber leicht, wenn man die Bewegung des oberen Lides, wie ich es im Folgenden beschreiben werde, photographisch auf der mit lichtempfindlichem Papiere überspannten Trommel eines Kymographions verzeichnet. Das Verfahren war der Hauptsache nach das gleiche, wie es von Bellarminoff [2]) zuerst zum Studium der Pupillenbewegung bei Tageslicht angewendet wurde, und ich es bei Untersuchung des Verhaltens der Pupillenweite nach Verdunkelung des Auges verwendete. In den Einzelheiten sei daher auf die letztere Arbeit verwiesen [3]). Ein Hauptunterschied gegenüber den früheren Versuchen bestand darin, dass bei der viel rascheren Bewegung des Lides im Vergleich zur Pupille ein viel rascherer Gang der Trommel und somit bei gleicher Spaltbreite für jeden Papiertheil eine viel kürzere Expositionszeit erforderlich war. Bei dem raschesten Gange (Fig. 3 und 4) wurde beispielsweise jeder Papiertheil kürzer als $^1/_{100}$" von den vom Lide ausgesendeten, durch das Objectiv und den Spalt tretenden Lichtstrahlen getroffen. Ich musste daher eine sehr starke Beleuchtung durch eine nur etwa 1,5 m entfernte Bogenlampe anwenden und bediente mich dabei des Kunstgriffes, auf oberes bzw. oberes und unteres Lid, sowie auf die Wange kleine Streifchen eines dünnen weissen Papiers zu befestigen (vgl. Fig. 1 a und 2 a). Sobald man dasselbe einige Zeit getragen hat, lassen sich alle Lidschläge ohne jede empfindliche Störung ausführen. Die Zeit wurde auf den Curven mittelst des Fünftel-Secunden schreibenden, vor dem Spalt befindlichen Hebels des Jaquet'schen graphischen Chronometers (Z in Fig. 1—4) aufgezeichnet. Da ich gezwungen war, Kymographien von verschiedener Gangrichtung zu benutzen, so wurde

---

1) Mit Einrechnung der Zeit für die Nervenleitung und der Latenzzeit der Muskelbewegung.

2) L. Bellarminoff, Anwendung der graphischen Methode bei Untersuchung der Pupillenbewegung. Pflüger's Archiv Bd. 37. 1885.

3) S. Garten, Beiträge zur Kenntniss des zeitlichen Ablaufes der Pupillarreaction nach Verdunklung, Pflüger's Archiv Bd. 58 S. 75 f. 1897.

durch einen Pfeil über den Curven die Richtung vermerkt, in der dieselben zu lesen sind.

Endlich sei zur Vermeidung von Wiederholungen erwähnt, dass ich, um die Bewegung eines und desselben Punktes[1]) des oberen Lides während eines Lidschlages aufzuschreiben, auch noch ein etwas abweichendes Verfahren einschlug, welches zugleich gestattet, an jedem Curventheil die Geschwindigkeit der Bewegung leicht zu übersehen.

Auf dem durch einen feinen Schellacküberzug isolirten oberen Augenlide liess ich zwischen zwei ganz feinen, auf einem sehr dünnen schmalen Wachstaffetstreifchen befestigten Stanniolspitzen in regelmässiger Folge die Funken eines kleinen Inductionsapparates überspringen, dessen Unterbrechungsfeder regelmässige Schwingungen ausführte. Der schmale Wachstaffetstreifen liess sich leicht, wie früher der Papierstreifen, auf dem Lide befestigen, und da die Stanniolspitzen nur durch sehr dünne und lange, schmale Stanniolstreifen mit den Zuleitungsdrähten des Inductionsstromes in Verbindung standen, so war die Bewegung des Lides nicht merklich gehemmt. Die Funken zeichneten auf der bewegten Trommel eine feine gestrichelte Linie (*L* in Fig. 5—9). Jeder Strich derselben entspricht einem Oeffnungsinductionsfunken. Um das Auge der Versuchsperson nicht zu gefährden, wurden nur verhältnissmässig schwache Inductionsströme verwendet; immerhin erscheinen aber die Curven zu genauen Messungen geeignet. In allen anderen Fällen, wo stärkere Funken anwendbar sind, erscheint dieses Verfahren, namentlich in Bezug auf Geschwindigkeitsbestimmungen, sehr empfehlenswerth[2]).

---

1) Bei dieser ersten Versuchsanordnung stellt die von dem Papierstreifen gezeichnete Curve nicht getreu die Bewegung eines Punktes des oberen Lides dar, sondern nur den jeweiligen Theil des oberen Lides, welcher bei einer jeden Lidstellung gerade im Spalt abgebildet wird. Bei der Bogenbewegung des Lides wäre die dauernde Abbildung eines Punktes nur möglich, wenn der von einem Punkte des Lides beschriebene Kreisbogen (natürlich nur näherungsweise) in der durch den Spalt und Objectivmitte gelegten Ebene läge. Bei Beurtheilung der von dem Papierstreifen entworfenen Curven erscheint daher namentlich in Bezug auf Geschwindigkeitsänderung ein Vergleich mit der unten beschriebenen „Punktcurve“ angezeigt.

2) In vieler Hinsicht erinnert das Verfahren an die Messung der Augenbewegungen mit den auf verschiedene Netzhautstellen fallenden Nachbildern eines intermittirenden Funkens (vgl. Helmholtz, Physiol. Optik, 2. Aufl. S. 487. 1896).

Die Zeit wurde auf diesen Curven in folgender Weise aufgeschrieben. Seitlich von der Versuchsperson befand sich vor einem Auerbrenner ein Schirm mit einem feinen Spalte. Dicht vor diesem bewegte sich der die Fünftel-Secunden schreibende Hebel. Mit Hülfe eines vor der Versuchsperson passend angebrachten Spiegels wurde durch das photographische Objectiv, welches die Lidfunken auf der Trommel abbildete, zugleich ein scharfes Bild des Spaltes und des Hebels auf der Trommel des Kymographions senkrecht oberhalb des Funkenbildes entworfen. Bei der auf diese Weise erhaltenen Zeitcurve (*Z* Fig. 5—9) beträgt also (wie bei den Curven 1—4) jeder Zwischenraum zwischen 2 Hebungen $^1/_5$″.

Zur Bestimmung der Reflexzeit bei optischer Reizung kam zu der soeben geschilderten Versuchsanordnung noch Folgendes hinzu. Etwa 10 cm vor dem Auge, oberhalb der Verbindungslinie von Objectivmitte mit dem höchsten Punkt des oberen Lides, liess ich zwischen 2 Metallspitzen einen kräftigen, 1 cm langen Funken eines grösseren Ruhmkorff's überspringen. Der Moment des Ueberspringens wurde durch einen kleinen Funken desselben Stromkreises, der oberhalb des Spaltes übersprang und in Fig. 5 bei F_1, F_2, F_3 oberhalb der Zeitmarkirungscurve sich als weisser, dicker Strich abhebt, markirt. Zur Ermittelung der Abscissendifferenz zwischen dem Funken auf dem oberen Lide und dem Spalt mit dem oberhalb desselben überspringenden Funken, welcher genau dem Reizmoment entspricht, wurde auf jeder Curve eine Aufnahme bei ruhender Trommel vorgenommen und hier auch ein Lidschlag nach optischer Reizung ausgeführt (vgl. Fig. 5 *A*, bei *a* Fig. 5 erfolgte die Lidhebung während des Anhaltens der Trommel).

Die ersten Aufnahmen (1—4) wurden zur Wiedergabe auf die Hälfte verkleinert, die Funkencurven (5—9) dagegen auf zwei Drittel der ursprünglichen Grösse (ursprüngliche Grösse $^2/_3$ der wirklichen Grösse). Alle im Folgenden ausgeführten Messungen wurden selbstverständlich an den weit genauere Resultate ergebenden Originalen vorgenommen.

I. Willkürlicher Lidschlag.

In Fig. 1 ist der willkürliche Lidschlag des Dieners *R.* nach dem zuerst angewandten Verfahren aufgenommen. Figur 1 a ermöglicht es, in den Figuren 1 b und c die verschiedensten, zum Theil ruhen-

den, zum Theil beim Lidschlage mitbewegten Theile, wie die Augenbrauen, der an das untere Augenlid grenzende Theil der Wange (*W*) und die Pupille (*P*), zu erkennen. Das Wesentliche ist der Verlauf des dem oberen Augenlide entsprechenden Streifens *O*. Fast mit einer scharfen Knickung beginnt das Herabgehen des oberen Lides. Das Lid hat bereits oberhalb der Pupille annähernd seine maximale Geschwindigkeit erreicht, die es bis kurz vor dem vollständigen Schluss der Lidspalte beibehält. Bei der Hebung des Lides, die im Ganzen langsamer als die Senkung erfolgt, verläuft namentlich der letzte obere Theil sehr gedehnt.

Der Kürze halber sollen in Folgendem die drei Lidschläge von Fig. 1 in der Richtung von rechts nach links durch I, II und III bezeichnet werden. Obgleich dem Diener aufgegeben war, möglichst kurze Lidschläge auszuführen, so finden sich doch namentlich zwischen II und III erhebliche zeitliche Abweichungen. Der Hauptunterschied liegt bei allen drei Lidschlägen in der Länge des unteren horizontalen Stückes, also in der Dauer des Geschlossenbleibens, während alle aufsteigenden Schenkel der Curven, wie auch alle absteigenden einander fast völlig congruent sind[1]).

Von den besprochenen Lidschlägen des Dieners *R*. stimmt namentlich III (Fig. 1c) in seinen zeitlichen Verhältnissen mit den von mir selbst ausgeführten willkürlichen Lidschlägen gut überein und kann daher als Beispiel eines kürzesten willkürlichen Lidschlages gelten. Abweichend von meinen unten beschriebenen Lidschlägen Fig. 2b und 3 hat der Diener *R*. bei seinen willkürlichen Lidschlägen, im Bestreben, diese möglichst abzukürzen, wie die Verschiebung der Augenbrauen auf Fig. 1b und c zeigt, auch die auxiliären Schliessmuskeln innervirt. Für die wichtigsten Phasen der Lidschläge (Fig. 1) ergab die Ausmessung an den Originalcurven, welche die doppelte lineare Grösse besassen, folgende zeitliche Verhältnisse:

Dauer des ganzen Lidschlages (vom ersten Beginne bis zur vollständigen Wiedererhebung des Lides):

bei I	. . . . .	0,44″
„ II	. . . . .	0,45″
„ III	. . . . .	0,36″
Im Mittel	. . . . .	0,42″

1) Dieselbe Congruenz ergab sich bei anderen, hier nicht abgebildeten Lidschlägen des Dieners *R*.

Dauer der Lidsenkung (vom ersten Beginn der Bewegung bis zum vollständigen Lidschlusse):

bei	I	0,066″
„	II	0,086″
„	III	0,073″
Im Mittel		0,075″

Dauer der vollkommenen Bedeckung der Pupille durch das obere Lid (bei einem Pupillendurchmesser von etwa 2½ mm):

bei	I	0,16″
„	II	0,22″
„	III	0,13″
Im Mittel		0,17″

Im Vergleich mit den willkürlichen Lidschlägen des Dieners *R.* seien zunächst hier die zeitlichen Verhältnisse von 3 von mir ausgeführten willkürlichen Lidschlägen wiedergegeben [1]).

Bei ihnen wurde die Bewegung des Lides mit der Funkenmethode aufgezeichnet.

Dauer des ganzen Lidschlages:

bei	I	0,302″
„	II	0,337″
„	III	0,284″
Im Mittel		0,308″

Die Zahl der Funkenzwischenräume betrug:

bei	I	14
„	II	15
„	III	14

Demnach entspricht einem Funkenzwischenraume folgende Zeit:

bei	I	0,302 : 14 = 0,0216″
„	II	0,337 : 15 = 0,0225″
„	III	0,284 : 14 = 0,0203″

Die Schwingungsdauer der Unterbrechungsfeder blieb also für unsere Bestimmung hinreichend konstant = 0,02″.

Dauer der Lidsenkung:

bei	I	4 Zwischenräume	= 0,08″
„	II	5 „	= 0,10″
„	III	4 „	= 0,08″
Im Mittel			= 0,087″

1) Die Curve ist hier nicht mit reproducirt, da sie sich wegen zu grosser Feinheit der Funken nicht zur Wiedergabe eignete.

Die Zeit, während der die Pupille vom Lid bedeckt war, lässt sich, wenn man näherungsweise die Mitte zwischen oberstem und unterstem Punkt der Curve (vgl. Fig. 1 b) als untersten Theil der Pupille annimmt, folgendermaassen angeben:

Dauer der vollkommenen Bedeckung der Pupille (Durchmesser etwa 3 mm) durch das obere Lid:

bei I . . .	6,5	Zwischenräume	= 0,13″
„ II . . .	7,0	„	= 0,14″
„ III . . .	6,5	„	= 0,13″
Im Mittel			= 0,133″

Um endlich die Geschwindigkeitsänderungen des Lidpunktes beim Abwärtsgehen des Lides zu überblicken, seien die vom Funken in der verticalen Richtung vom Beginn des Lidschlages ab zurückgelegten Wege nach je 0,02″ angeführt.

	Lidschlag I	Lidschlag II	Lidschlag III
Nach 0,02″ hatte sich der Punkt gesenkt um	1 mm	1,5 mm	1,5 mm
„ 0,04″ „ „ „ „ „ „	5,2 mm	6,5 mm	6,2 mm
„ 0,06″ „ „ „ „ „ „	10,0 mm	11,5 mm	11,5 mm
„ 0,08″ „ „ „ „ „ „	12,0 mm	13,0 mm	12,8 mm
„ 0,10″ „ „ „ „ „ „	—	13,2 mm	—

Wie diese in der verticalen Richtung zurückgelegten Wegstrecken zeigen, tritt sehr rasch, nach etwa 0,04″, die maximale Geschwindigkeit ein, jedenfalls ist der Geschwindigkeitszuwachs zwischen 0,04″ und 0,06″ nach Beginn des Lidschlages nur ganz unbedeutend. Das Gleiche liess sich aus der Krümmung der Curven in Fig. 1 b und 1 c ablesen. Bereits oberhalb der Pupille waren die Curven am steilsten nach abwärts gerichtet. Es entsprach dies, vom Beginne der Contraction gerechnet, einer Zeit von 0,03—0,04″[1]).

1) Wie Kronecker und Stanley Hall (Die willkürliche Muskelaction Du Bois' Archiv 1879) mittheilen, dauert eine möglichst kurze Beugung des Fingers bis zur Rückkehr des Fingers in die Ruhelage, wenn die Rückkehr nur durch schwache elastische Kräfte und nicht durch die Antagonisten bewirkt wird, etwa 0,32″ bis 0,30″. Diese Zeit stimmt mit der Dauer eines möglichst kurzen willkürlichen Lidschlages, dessen Mittelwerth 0,308″ betrug, sehr gut überein. Natürlich gestattet diese zeitliche Uebereinstimmung beider Vorgänge noch keineswegs einen Schluss über die Muskelthätigkeit beim Lidschlag (Hebung des Lides durch elastische Kräfte oder durch Contraction des M. levator?). Es wäre dies um so weniger angebracht, als es fraglich erscheint, ob bei den genannten Versuchen Kronecker's und Hall's die Antagonisten gar nicht mitgewirkt haben. (Vgl. v. Kries, Du Bois' Archiv 1886 Suppl. S. 11.)

Auf Tafel III Fig. 6—9 sind noch einige willkürliche Lidschläge des Dieners *R.* unter den verschiedensten Bedingungen aufgenommen. Die Curven wurden mittelst der Funkenmethode aufgeschrieben. Die Linie *L* stellt also die Bewegung eines und desselben Punktes des oberen Augenlides dar. Es sei hier nochmals hervorgehoben, dass ein solcher Punkt, wie die Aufnahmen eines Lidschlages bei ruhender Trommel zeigen, *A* (Fig. 6—9), sich nicht in der senkrechten bewegt, sondern beim Heben und Senken des Lides auf der Trommel eine Curve beschreibt, welche im unteren Theile stärker wie im oberen gekrümmt ist.

Fig. 6 gibt eine Reihe willkürlicher Lidschläge des Dieners *R.* nach einer längeren Erholungspause wieder. Es war dem Diener aufgegeben worden, möglichst kurze, dabei aber gleichmässige Lidschläge auszuführen.

Aus der Curve ersieht man, mit welcher ausserordentlichen Gleichmässigkeit unter Umständen die willkürlichen Lidschläge erfolgen können.

Um für die einzelnen Phasen der Lidschläge (Fig. 6) die Zeit in Secunden zu erhalten, genügt es, für die verschiedenen Theile der Curve die Funkenzwischenräume (Funkenmitte zu Funkenmitte) auszuzählen und diese Zahl mit 0,0177 zu multipliciren, da die Zeitwerthe für einen Funkenzwischenraum nur sehr unerheblich von diesem Mittelwerthe abweichen.

In folgender Zusammenstellung seien die Lidschläge von rechts nach links mit I, II u. s. w. bezeichnet.

Dauer des ganzen Lidschlages:

Bei	I . . .	20	Funkenzwischenräume	= 0,354″
„	II . . .	19	„	= 0,336″
„	III . . .	17	„	= 0,301″
„	IV . . .	20	„	= 0,354″
„	V . . .	18	„	= 0,319″
„	VI[1]) . .	21	„	= 0,372″
Im Mittel	. . . .			= 0,339″

Dauer der Lidsenkung:

Bei	I . . .	5	Funkenzwischenräume	= 0,089″
„	II . . .	6	„	= 0,106″
„	III . . .	4	„	= 0,071″
„	IV . . .	6	„	= 0,106″
„	V . . .	4	„	= 0,071″
„	VI . . .	6	„	= 0,106″
Im Mittel	. . . .			= 0,091″

1) Ist in Fig. 6 weggelassen worden.

Die Hebung des Lides nimmt wiederum die längste Zeit in Anspruch. Die Hebungszeit schwankt zwischen 8 und 10 Funkenzwischenräumen, d. h. zwischen 0,142" und 0,177".

Nimmt man näherungsweise die Mitte zwischen oberstem und unterstem Punkte der Curve als untersten Theil der Pupille (Durchmesser etwa 3 mm) an, so ergeben sich für die Dauer der vollkommenen Bedeckung der Pupille durch das obere Lid folgende Werthe:

Bei I . .	12,5	Funkenzwischenräume	= 0,222"
„ II . .	10,5	„	= 0,186"
„ III . .	10,5	„	= 0,186"
„ IV . .	11,5	„	= 0,204"
„ V . .	11,0	„	= 0,195"
„ VI . .	12,0	„	= 0,212"
Im Mittel	. . . .		= 0,201"

Die Geschwindigkeitsänderungen des Punktes beim Niedergehen des Lides sind ganz die gleichen, wie bei meinen Lidschlägen (S. 484).

In vielen Fällen besassen die willkürlichen Lidschläge der gleichen Person, auch wenn diese beabsichtigte, möglichst kurze, regelmässige Lidschläge auszuführen, abweichende Form. Namentlich war die Zeit des Herabgehens des Lides oft eine auffallend lange. Derartige Lidschläge veranschaulicht Fig. 8. Der erste und dritte Lidschlag von *A* aus gerechnet zeigt diese langgedehnte Schliessung, während zwischen beiden ein normaler kurzer Lidschlag (wie die Lidschläge Fig. 6) eingeschoben ist. Bei dem ersten und dritten Lidschlage hat die Schliessung sogar längere Zeit beansprucht als die Oeffnung. Trotzdem bleibt auch hier die Geschwindigkeit des Punktes, die derselbe in der Mitte des Auges besitzt, bei der Senkung immer noch grösser als in gleicher Lage bei der Hebung des Lides (vgl. die betreffenden Funkenabstände). Die Strecke zwischen den Mittelpunkten zweier benachbarter Funken entspricht auch hier 0,017", sodass ohne Weiteres alle Werthe durch Abzählen der Funken zu erhalten sind.

Sehr leicht kann man diese und andere abweichende Bewegungsformen des Lides erhalten, wenn man die Versuchsperson veranlasst, eine längere Reihe kurzer Lidschläge auszuführen. Ein derartiger Versuch ist in Fig. 7 bei sehr langsamer Trommelbewegung wiedergegeben. (Der Abstand zweier weisser Zwischenräume der gestrichelten Zeitcurve *Z* entspricht $^1/_5$".) Bereits vor dem Beginne der Curve (rechte Seite der Abbildung) hatte der Diener *R.* mehrere Secunden

hindurch Lidschläge ausgeführt. Es zeigt sich nun, dass nach 3 bis 6 grossen regelmässigen Lidschlägen mehrere unregelmässige kleinere folgen, nach diesen wieder eine Anzahl grosser regelmässiger Lidbewegungen einsetzt u. s. f.

In Fig. 7 sind die unregelmässigsten Theile der Curve mit E_1—E_6 bezeichnet; namentlich gegen Ende derselben (E_5 und E_6) treten diese Unregelmässigkeiten am besten hervor. Eine der Stelle E_5 sehr ähnliche ist in Fig. 9 bei grösserer Trommelgeschwindigkeit wiedergegeben. Nach einer Reihe grosser kräftiger Lidschläge werden die Excursionen des Lides immer kleiner, wobei das Lid ziemlich tief gesenkt bleibt. Auffallend ist, wie das Abzählen der Funkenabstände lehrt, dass auch bei den äusserst kleinen Bewegungen gegen Ende der Curve jede Senkung des Lides die gleiche Zeit erfordert, wie die ausgiebigen Senkungen bei den ersten vollständigen Lidschlägen. Bei der Ungeübtheit, rasch hinter einander eine grosse Zahl regelmässiger Lidschläge auszuführen, dürften die besprochenen Unregelmässigkeiten, welche sich auch bei zwei hier nicht abgebildeten langen Lidschlagsreihen fanden, als Ermüdungserscheinungen aufzufassen sein[1]).

II. Reflectorischer Lidschlag.

Ein durch Anblasen der Cornea herbeigeführter reflectorischer Lidschlag meines rechten Auges ist in Fig. 2b wiedergegeben. Am Beginne der Curve, sowie im Anschluss an den reflectorischen Lidschlag ist ausserdem noch je ein kurzer abortiver Lidschlag verzeichnet. Da die Reizung durch Anblasen länger dauerte, so kann der zweite abortive Lidschlag ebenfalls noch reflectorisch durch das Anblasen herbeigeführt sein. Der durch Anblasen ausgelöste reflectorische Lidschlag zeigt den gleichen steilen Anstieg der Geschwindigkeit, wie die oben besprochenen willkürlichen Lidschläge. Die Geschwindigkeit

1) Ganz ähnliche Curven (periodische Abnahme willkürlicher Muskelcontractionen) hat Lombard (Effet de la fatigue sur la contraction musculaire volontaire, Archives Ital. de Biologie XIII S. 371, 1890) bei anhaltender willkürlicher Muskelthätigkeit (Fingerbewegungen) am Ergographen erhalten. Es sei hervorgehoben, dass L. diese Erscheinung ausser an sich nur an einigen der zu den Versuchen verwendeten Personen beobachten konnte. In einer seiner späteren Veröffentlichungen (Journal of Physiologie Bd. 14 1893) theilt er allerdings mit, dass er auch von einer Reihe anderer Personen die gleichen Ermüdungscurven erhalten hat.

ist bereits nach 0,03″, etwa in der Pupillenmitte maximal. Die Dauer der Lidsenkung betrug 0,089″. Also auch hierin besteht grosse Uebereinstimmung mit den willkürlich herbeigeführten Lidschlägen. Auf eine Bestimmung der Zeit, welche vom Reizmoment bis zum Beginne der Lidbewegung verfliesst, habe ich bei dem Anblasen verzichtet, da der Reizmoment beim Anblasen der Hornhaut zeitlich nicht genau bestimmbar ist. Bei Reizung des Auges durch Anblasen fand Franck (l. c.) sowohl auf der gereizten, wie ungereizten Seite eine Reflexzeit von 1/10″.

Figur 4 zeigt einen reflectorischen Lidschlag bei Reizung des Trigeminus der anderen Seite durch einen Oeffnungsinductionsschlag. Vom Reizmoment ab gerechnet, Niedergang des Hebels bei *R*, bis zum Beginn der Contraction s_2 verstrichen 0,04″. Aus einer anderen hier nicht mitgetheilten Curve ergab sich ganz ähnlich 0,041″. Dass diese Zahl kleiner ist als der von Exner (l. c.) gefundene Werth von 0,0662″ bei schwacher, 0,0578″ bei starker Reizung, ist wohl aus dem Wegfall jeder mechanischen Hemmung der Lidbewegung bei der von mir benutzten Aufzeichnungsmethode zu erklären. Zu fast den gleichen Zeitwerthen wie bei meinen Versuchen führten die zahlreichen Bestimmungen Mayhew's (l. c.) über die Reflexzeiten nach tactiler Reizung[1]). Die Zeit vom Moment der Berührung bis zum Beginn der Lidbewegung betrug bei ihm im Mittel 0,042″. Seine kürzesten Zeiten waren 0,035″, seine längsten 0,049″.

In Curve 3 habe ich durch einen starken Inductionsschlag beim Niedergang des Hebels *R* sowohl die zum M. orbicularis führenden Facialisäste als auch die Trigeminusfasern derselben Seite gereizt. Bei s_1 0,006″ nach der Reizung beginnt bereits die Muskelcontraction, welche fast vom Beginn ab geradlinig verläuft. 0,04″ nach der Reizung (s_2 Fig. 3) tritt aber ein deutlicher Knick der Curve auf: Zu der directen Reizung kommt der auf dem Wege des Reflexes eintreffende Reiz. Dass diese Deutung der Curve die richtige ist, erscheint bei der zeitlichen Uebereinstimmung mit dem reflectorischen Lidschlage (Fig. 4), wo sich als Reflexzeit[2]) auch 0,04″ ergeben hatte, höchst wahrscheinlich.

---

1) Bei seinem oben geschilderten Verfahren war eine mechanische Hemmung der Lidbewegung ebenfalls so gut wie ausgeschlossen.

2) Die Zeit der Nervenleitung und die Latenzzeit der Muskelbewegung sind hier und im Folgenden in der „Reflexzeit“ mit einbegriffen.

Um die Reflexzeit nach **optischer**[1]) Reizung zu bestimmen, liess ich 10 cm vor dem Auge einen kräftigen elektrischen Funken überspringen. Da das Zimmer, in dem die Versuchsperson sich aufhielt, stark verdunkelt wurde, so wirkte der verwendete Funken so stark reizend, dass der durch ihn herbeigeführte Lidschlag durch den Willen nicht zu unterdrücken war. In Figur 5 ist ein derartiger Versuch wiedergegeben. Die bei F_1 F_2 F_3 über der Zeitcurve Z befindlichen weissen Striche entsprechen dem Moment der optischen Reizung, bei L_1 L_2 L_3 setzen die reflectorischen Lidschläge ein. Zur Bestimmung der Reflexzeit muss die Abscissendifferenz zwischen Lidfunken (bei gehobenem Lide) und dem die Reizung markirenden Funken mit in Rechnung gezogen werden. Die Abscissendifferenz ist der Aufnahme bei ruhender Trommel, A Fig. 5, zu entnehmen. (Bei a Fig. 5 erfolgte die Lidhebung **während** des Anhaltens der Trommel.) Die Dauer eines ganzen Lidschlages bei der optischen Reizung ist meist etwas kürzer als die vom Diener ausgeführten willkürlichen Lidschläge, wie es auch bei den in Fig. 5 wiedergegebenen Lidschlägen der Fall ist.

Die Zeit vom Ueberspringen des elektrischen Funkens bis zum Beginn der Lidbewegung betrug in Figur 5 bei:

L_1 0,107″
L_2 0,082″
L_3 0,080″.

Bei anderen, hier nicht abgebildeten Curven ergaben sich für diese Zeit folgende Werthe: 0,061″, 0,070″, 0,100″, 0,115″, 0,122″, 0,132″.

Diese bedeutenden Unterschiede in den gefundenen Reflexzeiten nach der gleichen optischen Reizung lassen sich nicht auf Fehler in der Aufzeichnung beziehen, da diese direct durch das Licht bewirkt wurde, Reizmoment und der Beginn der Bewegung sich also genau markirten. Es erscheint daher sicher gestellt, dass bei optischer Reizung die Reflexzeiten grossen Schwankungen ausgesetzt sind, weit

---

1) Noch in den letzten Jahren wurde, wie Eckhard (Centralblatt für Physiologie, 10. Aug. 1895 H. 10) angibt, mehrfach das auf Lichtreiz erfolgende Augenblinzeln als ein durch Trigeminusreizung eingeleiteter Reflexact angesprochen. Eckhard zeigte am Kaninchenauge, dass Durchschneidung des Opticus den auf Lichtreiz erfolgenden Lidschlag aufhebt, und dass umgekehrt bei erhaltenem Opticus und durchschnittenem Trigeminus der Reflex bestehen bleibt.

grösseren, als sie Mayhew (s. o.) nach Trigeminusreizung (Berührung) gefunden hatte. Auch noch in anderer Richtung weicht der Opticus-Reflex von dem Trigeminusreflex ab. Wie die oben angeführten Zahlen zeigten, war unter allen Umständen die Reflexzeit nach Opticusreizung weit länger als die nach Trigeminusreizung (mechanisch wie elektrisch). Es dürfte dies darauf hinweisen, dass der centrale Weg, den der Reflexvorgang nach Opticusreizung nimmt, ein weit zusammengesetzterer ist und daher der Reflexvorgang in seinem zeitlichen Ablauf auch von den jeweiligen Zuständen der einzelnen Theile der Centralorgane weit abhängiger ist, als bei dem nach Trigeminusreizung erfolgenden Lidschlage.

Erklärung der Abbildungen.

Die in Figur 1—4 abgebildeten Lidschläge wurden in nahezu natürlicher Grösse aufgenommen, in vorliegender Tafel aber auf die Hälfte verkleinert. Auf den Abbildungen bedeutet *o* die Curve, welche von dem auf dem oberen Lid befestigten feinen Papierstreifchen geschrieben wurde (die Breite dieser Curve wechselt in Folge der verschiedenen perspektivischen Projection dieses Streifchens), desgleichen *P* die Curve von der Pupille, *u* vom Papier des unteren Augenlides und *W* von der Wange. *Z* entspricht der Curve des $^1/_5$ Secunden schreibenden Hebels. Auf den Figuren 3 und 4 stellt *H* die Curve eines Hebels dar, dessen Niedergang *R* der Reizung durch einen Oeffnungsinductionsschlag entspricht.

Figur 1. Willkürliche Lidschläge des Dieners *R.* Aus 1 a sind ohne Weiteres die vom oberen und unteren Augenlid, Pupille und Augenbrauen in 1 b und 1 c gezeichneten Curven zu verstehen. Der über die Pupille gehende Spalt *S* (Fig. 1 a) zeigt, welches Stück der genannten Theile im Folgenden die Curven schrieb. Die Curve 1 b und c ist von rechts nach links zu lesen.

Figur 2. (Von links nach rechts zu lesen.) Reflectorischer Lidschlag von meinem rechten Auge, ausgelöst durch Anblasen der Cornea. Zu Beginn und zu Ende der Curve 2 b ist je ein abortiver Lidschlag dargestellt.

Figur 3. Lidschlag meines rechten Auges, herbeigeführt durch einen Inductionsschlag. Die differente Elektrode war etwa 1 cm temporalwärts vom äusseren Augenwinkel desselben Auges aufgesetzt. *R* Moment der Reizung, s_1 Beginn der ersten Lidbewegung, veranlasst durch Reizung der zum m. orbicularis führenden Facialisäste, s_2 plötzliche Beschleunigung des Niederganges des Lides (Trigeminusreflex vgl. Fig. 4).

Figur 4. Reflectorischer Lidschlag meines rechten Auges bei Trigeminusreizung auf der linken Seite mit Inductionsschlag. *R* Moment der Reizung, s_2 Beginn der Lidbewegung.

Die in Figur 5—9 wiedergegebenen Lidschläge sind mit der im Text näher beschriebenen Funkenmethode in etwa zwei Drittel der wirklichen Grösse aufgenommen. Zur Wiedergabe mussten die Originale aber noch um ein Drittel verkleinert werden. Auf den Figuren ist L die von einem Punkte des oberen Lides beschriebene Curve, Z (dunkle Linie auf hellem Grund) die Zeitcurve; wie in den ersten Figuren entspricht dem Zwischenraume zwischen 2 Hebungen der Linie Z $^1/_5$ Secunde. Bei A ist auf allen Curven jedesmal die Aufnahme eines Lidschlages bei ruhender Trommel ausgeführt.

Figur 5. Reflectorische Lidschläge (L_1, L_2, L_3) nach optischer Reizung. Die weissen Striche oberhalb der Zeitmarkirung (F_1, F_2, F_3) sind die Abbildungen des bei der optischen Reizung gleichzeitig mit dem grossen Reizfunken oberhalb des Spaltes überspringenden kleineren Funkens. In A ist bei ruhender Trommel ein Funke übergesprungen und ein Lidschlag ausgeführt. Die Hebung des Lides bei a Figur 5 darf nicht berücksichtigt werden, da diese während des Aufhaltens der Trommel erfolgte. Zur Bestimmung der Reflexzeit ist die aus dieser letzteren Aufnahme sich ergebende Abscissendifferenz zwischen Reizfunken und Lidfunken (bei gehobenem Lide) zu berücksichtigen.

Figur 6. Willkürliche Lidschläge des Dieners R. nach längerer Erholungspause. Die Lidschläge besitzen eine ausserordentliche Gleichmässigkeit.

Figur 7. Sehr langsamer Gang der Trommel. (Vgl. die Zeitmarkirung, Abstand zweier weisser Zwischenräume der Linie $Z = {}^1/_5{}''$.) Dem Diener war aufgegeben, möglichst viel willkürliche Lidschläge, ohne zu pausiren, auszuführen. E_1—E_6 zeigen die nach einer Reihe regelmässiger Lidschläge sich immer wieder einstellenden Unregelmässigkeiten. (Lid bleibt längere Zeit gehoben, gesenkt oder in mittlerer Höhe [E_6] und führt kleine unregelmässige Bewegungen aus.)

Figur 8. Gedehntere willkürliche Lidschläge vom Diener R. Bei dem ersten und dritten Lidschlage (von rechts) dauert die Lidsenkung sogar länger wie die Hebung des Lides.

Figur 9. Abnahme der Excursionsgrösse der Lidbewegungen nach einer grösseren Reihe willkürlicher Lidschläge. Die Curve gleicht der Stelle E_5 in Figur 7, ist nur bei grösserer Trommelgeschwindigkeit aufgenommen.

Ueber die Bewegungen des Darminhaltes.

Von

P. Grützner (Tübingen).

Ich habe vor einigen Jahren die Angabe[1]) gemacht, dass bei Säugethieren und Menschen Flüssigkeiten und kleine in ihnen aufgeschwemmte Partikelchen, welche man in den Mastdarm bringt, unter günstigen Umständen weit hinauf, ja mitunter bis in den Magen wandern können. Diese Angabe wurde von einer Seite bestätigt, von anderer bekämpft. Von gegnerischer Seite führte man aus, dass, wenn sich bei Thier und Mensch einige von den in den Mastdarm gebrachten kleinen Partikelchen im Dünndarm oder höher hinauf finden, diese immer und ausnahmslos auf höchst natürliche Weise, nämlich von oben her durch den Mund nach abwärts gelangt sind. Eine Wanderung solch' kleiner Theilchen nach oben finde niemals, wenigstens unter normalen Bedingungen, statt.

Ich habe nun diese Untersuchungen — allerdings mit einigen Unterbrechungen — durch mehrere Jahre hindurch mit um so grösserem Eifer fortgesetzt, als eben behauptet worden war, dass alle meine Angaben auf Irrthum beruhen sollten, und will nun die Ergebnisse dieser Beobachtungen in Kürze mittheilen.

Zunächst gestehe ich offen ohne Weiteres ein, dass manche meiner anfänglichen Versuche mit Fehlern behaftet waren, dass also die Thiere, trotzdem sie natürlich nicht ihre eigenen Fäces verzehren oder belecken konnten — denn daran wurden sie verhindert —, doch durch Abputzen und Belecken ihres Felles und ihrer Pfoten und vielleicht noch in sonst anderer, mir unbekannter Art die nur für den Mastdarm bestimmten Stoffe in ihren Mund gebracht haben.

Sehe ich aber von diesen Fehlversuchen ab, so bleibt eine grosse und eine viel, viel grössere Zahl von Versuchen übrig, die auch bei

---

1) Verhandl. der Gesellsch. deutsch. Naturf. u. Aerzte zu Nürnberg Heft 2 S. 403, 1894 und Deutsch. med. Wochenschr. Nr. 48, 1894.

sorgfältigster Vermeidung aller nur denkbaren Fehlerquellen ein positives Resultat ergeben haben.

Vorweg sei bemerkt, dass meine Gegner derartige positive Versuche ebenfalls zu verzeichnen hatten. So beschreibt Christomanos[1]), der wesentlich auf Nothnagel's Anregung hin meine Versuche aufnahm, und dem ich, weil er mich zuerst auf gewisse Fehlerquellen aufmerksam machte, zu Dank verpflichtet bin, Folgendes: Unter sechs Personen, denen er Semen Lycopodii in physiologischer Kochsalzlösung aufgeschwemmt in den Mastdarm eingeführt hat, findet er bei zweien das Lycopodium im Magen.

Dauber[2]) führte einem Hunde (Pudel), den er an einer Kette hoch gehängt hatte, „so dass das Thier bequem stehen, aber nicht den Boden oder das Hintertheil mit der Schnauze erreichen konnte", 90 ccm von einer Emulsion aus Olivenöl, Gummi arabicum und Wasser, mit Alcannawurzel gefärbt und 1 % Kochsalz enthaltend, durch Nélatonkatheter in den Mastdarm und fand nach 6 Stunden, trotzdem der Dickdarm prall mit Koth gefüllt war, in diesem und 10 cm über die Ileocöcalklappe hinaus reichlich Fetttropfen in dem sonst leeren Dünndarm. Es hatte also in dieser Zeit (und das ist das rein Thatsächliche in diesem Versuche) die Flüssigkeit nicht bloss den ganzen Mastdarm sammt Dickdarm durchwandert, sondern war auch noch 10 cm über die Ileocöcalklappe hinauf marschirt. Wendt deutet sich die Sache folgendermaassen: „Der Dickdarm war prall mit Koth gefüllt, und das absolut reinliche Thier hätte sicher Koth entleert, wenn es nicht im Zimmer gewesen wäre. Da nun der durch das Klysma erregten Peristaltik der active Widerstand des Sphincters entgegenwirkte und Stand hielt, wich ein Theil des Darminhaltes oder wenigstens der Emulsion rein mechanisch nach Art der Rückstosscontraction, wie sie Nothnagel in seinen Versuchen über Ileus beschreibt, nach oben aus, wobei sie dann bis etwa 10 cm über die Ileocöcalklappe hinauf gepresst wurde."

In wie weit diese Auffassung eine durchaus zutreffende ist, lasse ich dahin gestellt, vorläufig sei hier nur die Thatsache betont, dass bei einem normalen Hunde eine geringe in den Mastdarm eingeführte Flüssigkeitsmenge über die Ileocöcalklappe hinaus in den Dünndarm, also gegenläufig, befördert wurde.

---

1) Wiener klin. Rundschau, 9. Jahrgang Nr. 12 u. 13. 1895.

2) Deutsche med. Wochenschrift Nr. 34. 1895.

Schliesslich hat auch noch Wendt[1]) ähnliche Versuche wie ich angestellt, aber mit durchweg negativem Erfolge. Sobald er alle Fehlerquellen sorgfältig vermied, gelang es ihm nie, die in den Mastdarm eingeführten Massen in dem Dünndarm oder höher hinauf wieder zu finden. Wohl aber waren sie bis zur Bauhin'schen Klappe vorgedrungen und schnitten hier vielfach scharf ab. Er verwendete wesentlich, sowie auch Andere, untersalpetersaures Wismuth, welches er in physiologischer Kochsalzlösung aufschwemmte. Ob dieses Salz gerade das zweckmässigste für diese Versuche ist, das möchte ich bezweifeln. Einmal ist es specifisch ziemlich schwer, wie Wendt[1]) selbst bemerkt; dann aber ist es doch, wie gerade die Kliniker am besten wissen, nicht völlig gleichgültig. Wie es auf die Darmschleimhaut wirkt, ist wohl noch nicht über allen Zweifel erhaben; dass es aber auf dieselbe einwirkt, ist doch unzweifelhaft.

Hierzu kommt noch etwas. Ich möchte mir nicht zutrauen, wenn es in kleinen Mengen im Darmsaft sich findet, dasselbe mit Sicherheit mikroskopisch nachzuweisen und als solches zu erkennen[2]). Es kommen im Darminhalt so vielfach Gebilde vor, welche den durch den Darmsaft veränderten, d. h. bräunlich bis schwärzlich gefärbten Krystallen des Wismuthsalzes so ähnlich sehen, dass da Verwechselungen unvermeidlich sein dürften. Wendt hat auch, „um dem zeitraubenden Mikroskopiren aus dem Wege zu gehen", ein chemisches Reagens zum Nachweise angewendet. „Mit frisch dargestelltem Cinchoninnitrat, das in jodkalihaltigem Wasser gelöst ist (Cinchon. nitric. 1,0, Kali jodat 2,0, Aqua destillata 100,0), geben Wismuthsalze bis zu einer Verdünnung von 1 : 500,000 einen lebhaft orangefarbenen Niederschlag, der sich in Alkohol leicht löst. Man hat nun nur nöthig, die zu untersuchende Substanz mit etwas Salpetersäure zu versetzen, um das Bismuth. subnitric. zu lösen, oder, falls dann die Reaction in Folge von im Darme gebildetem Wismuthsulfid noch nicht erscheint, das letztere mit Kalilauge zu zersetzen. Es gelang

1) Wendt (Münchener medic. Wochenschrift Nr. 19, 1896) erwähnt, dass ich den noch schwereren Zinnober für den gleichen Zweck verwendet habe. Mir ist davon Nichts bekannt. Auch steht in meiner oben genannten Arbeit von Zinnober kein Wort.

2) Dieselbe Ansicht vertritt auch Swiezinski (s. weiter unten). Uebrigens hat Quincke (Münch. med. Wochenschr. Nr. 36, 1896) ganz dasselbe wie ich auch an dem Darminhalt von Menschen beobachtet, denen man Bism. subnitr. eingeführt hatte.

mit diesem Reagens prompt, auch die geringsten Spuren auf der Schleimhaut deutlich nachzuweisen."

Ich habe mit diesem Reagens auch einige Versuche angestellt, habe mich aber für dasselbe nicht besonders erwärmen können. Ganz abgesehen davon, dass sich bei mir so viel Cinchoninnitrat nicht auflöste, ist das Reagens auch desshalb unangenehm, weil es sich binnen Kurzem zersetzt. Auch habe ich sehr kleine Mengen des Wismuthsalzes im Darminhalt mit ihm nicht nachweisen können, während grössere den schönen Niederschlag gaben. Ich halte das Mikroskop — vorausgesetzt, dass es sich um sicher zu erkennende Stoffe wie etwa Lycopodium u. s. f. handelt — auf Grund meiner vielfachen Beobachtungen jener chemischen Methode so überlegen, dass ich sie nicht weiter angewendet habe.

Ich erwähne schliesslich noch die Arbeit von Swiezinski[1]), der in dem Laboratorium von Riegel unter allen nur erdenklichen Vorsichtsmaassregeln meine Versuche an Mensch und Thier (Hund) mit Lycopodium wiederholte und sie bestätigen konnte, das heisst, er fand, dass das in Kochsalzlösung aufgeschwemmte und in den Mastdarm eingeführte Lycopodium bis in den Dünndarm, ja sogar bis in den Magen hinauf gewandert war. Auch wässerige Aufschwemmungen wurden, wenn auch nicht so kräftig, nach oben befördert.

Bleiben wir zunächst einmal bei diesen Angaben stehen, so scheint etwas über allen Zweifel erhaben, insofern es von allen Forschern angegeben wird, nämlich die Thatsache, dass die in Kochsalzlösung suspendirten Körperchen — sowohl leichte wie schwere — durch den ganzen Mastdarm und Dickdarm selbst bei grösseren Hunden und Kaninchen hinaufwandern. Hier sollen sie nun nach den Einen Halt machen und unter keinen Umständen die Klappe überschreiten, nach den Andern aber auch höher hinauf kommen können.

Es fragt sich, ob die Bauhin'sche Klappe mit solch' vollkommener Sicherheit Flüssigkeiten oder dünnflüssige Massen von unten nach oben absperrt, ob also wirklich der Uebertritt von derartigen Massen etwas ganz Unerhörtes wäre. Nun es ist bekannt, dass grössere Flüssigkeitsmengen, welche man in den Mastdarm einfliessen lässt, bei Thier und Mensch weit über die Bauhin'sche Klappe hinaus in die Höhe sich begeben, wie unter Anderen

1) Deutsche med. Wochenschrift Nr. 32. 1897.

Mosler[1]) Cantani[2]) und Falck[3]) nachgewiesen haben. Der letzte Forscher kommt auf Grund seiner anatomischen und physiologischen Untersuchungen zu folgender Anschauung: „Die Bauhin'sche Klappe im Darme des Hundes leistet nur dem direct darauf treffenden Wasser einigen Widerstand, keineswegs dem direct auf das Ostium iliacum eindringenden Wasser. Als Ventil oder als Schlussmittel darf die Klappe nie aufgefasst werden. Sie spielt nur die Rolle eines in ein Wassergerinne seitlich eingesetzten Directionsbrettes."

Ich muss nach meinen eigenen Erfahrungen dieser Ansicht im Wesentlichen durchaus zustimmen. Die Bauhin'sche Klappe ist nur ein relatives, aber kein absolutes Hinderniss für die Fortschaffung von Stoffen in der Richtung nach aufwärts. Diese ihre ventilartige Wirkung ist am erfolgreichsten für dickflüssige und namentlich für feste Stoffe, welche den Dickdarm ziemlich prall erfüllen.

Es ist nun aber gar nicht nöthig, dass viel Flüssigkeit in diesen Abschnitten des Darmes sich befinde. Wenn nur überhaupt Flüssigkeit in den oberen Theilen des Dickdarms ist, so kann ausserordentlich leicht ein Uebertritt dieser Flüssigkeit aus dem Dickdarm in den Dünndarm stattfinden und findet vielleicht ziemlich regelmässig statt.

Folgende Versuche dienen als Belege.

Versuch.

Eine männliche weisse Ratte, die seit 46 Stunden hungert, wird mit Aether narkotisirt, ihr Leib in der Linea alba geöffnet und 2 cm unterhalb der Valvula Bauhini fast ohne jeden Druck aus einer Pravaz'schen Spritze 0,5 ccm folgender Mischung in den Dickdarm nach schräger Durchbohrung seiner Wand eingeführt. Die Mischung bestand aus 0,1 g Sem. Lycopod., 0,1 g Gummi arabic., 2,5 ccm NaCl-Lösung 0,6 %, 2,5 ccm Na_2CO_3 1 %, eine Spur chines. Tusche. Der Bärlappsamen wurde mit dem Gummi arabicum und sehr wenig Flüssigkeit innig verrieben und dann der Rest der Flüssigkeit allmälig zugemischt.

Beim Einspritzen der Masse zieht sich der obere Theil des Dickdarms, welcher die Flüssigkeit aufnahm, zusammen. Der Leib des Thieres wird geschlossen und das Thier durch Verbluten getödtet. Der Bärlappsamen wird unten im Dünndarm massenhaft und in immer geringerer Menge bis 23 cm oberhalb der Klappe gefunden. Im Magen fand sich noch kein Körnchen.

---

1) Deutsch. Archiv für klin. Medicin Bd. 15 S. 233. 1875 und Eulenburg's Encyklopädie.

2) Centralbl. für die med. Wissensch. Jahrg. 29 S. 266. 1891. Christomanos und nach ihm Wendt citiren 1894.

3) Zeitschrift für Biologie Bd. 9 S. 172 (185). 1873.

Innerhalb weniger Minuten waren also die Massen aus dem Dickdarm weit hinauf bis in den Dünndarm gegangen. Von einem Verschluss der Klappe war keine Rede.

Ein ähnlicher Versuch wurde an einem Meerschweinchen gemacht, welches ebenfalls über einen Tag gehungert hatte. 4 cm unterhalb der Bauhin'schen Klappe wird möglichst langsam 1 ccm obiger Mischung in den Dickdarm eingeführt. Dieses Darmstück ist ziemlich leer. Kurz darauf wird das Thier getödtet. Die mit Flüssigkeit ziemlich reichlich erfüllten Dünndarmschlingen werden möglichst wenig verlagert und durch einige den Darm fest zuschnürende Fäden in einzelne von einander getrennte Abschnitte gesondert. Lycopodium findet sich bis 150 cm oberhalb der Valvula Bauhini.

Bei einem andern Meerschweinchen, dessen oberer, unter der Klappe liegender Theil des Dickdarms stark mit Kothmassen angefüllt war, gelang derselbe Versuch nicht, d. h. die Injectionsmassen blieben an Ort und Stelle liegen oder breiteten sich nur sehr wenig aus. Andererseits aber gelang es bei vielen Thieren leicht, ohne Weiteres zu sehen, wie die schwarzen in den Dickdarm eingeführten Injectionsmassen während der Einspritzung aus den oberen Abschnitten des Dickdarms in den Dünndarm hinüber flossen ohne jegliches Hinderniss.

Ich glaube, dass ganz dasselbe auch für die menschliche Valvula coli gilt. Sie ist kein vollkommenes Ventil, und am allerwenigsten schliesst sie dicht für Flüssigkeiten; letzteres schon desshalb nicht, weil ihre beiden Lippen, in welche der Dünndarm, trichterförmig sich verengend, übergeht, nie gleich gross sind, also nicht dicht von der Dickdarmseite für Flüssigkeiten zusammengepresst werden können. Die obere nach dem Dickdarm zu sehende Lippe fand ich an einer grösseren Menge mir gütigst von College Froriep zur Verfügung gestellten Präparaten stets grösser, weiter in die Mitte hervorragend als die untere, nach dem Blinddarm zu sehende.

Sobald also Flüssigkeiten oder dünnflüssige Massen im oberen Theile des Dickdarms sich befinden, so werden sie in sehr vielen Fällen, sobald eben der Druck auf der Dickdarmseite ein wenig in die Höhe geht, in den Dünndarm übertreten. Sind diese Darmabschnitte dagegen reichlich mit dicklichen, breiigen oder gar mit festen Massen gefüllt, so ist ein Uebertritt nach der Dünndarmseite wohl kaum möglich, weil jede Druckerhöhung auf der Dickdarmseite die beiden Lippen an einander drücken und sie zusammenschliessen

muss. Etwa aus diesem breiigen Inhalt ausgepresste Flüssigkeit kann in geringen Mengen durch die Klappe hindurch nach oben, die Massen selbst aber nicht.

Dies sind meine Anschauungen, zu denen ich auf Grund anatomischer und experimenteller Untersuchungen gelangt bin.

Wenn nun Stoffe im Dünndarm sind, seien sie von oben oder von unten her in denselben gelangt, oder seien sie durch Einspritzung, also etwa mit einer Pravaz'schen Spritze nach Durchbohrung der Darmwand, in eine beliebige Stelle eingeführt worden, was geschieht mit diesen? Die Mehrzahl wird wohl darauf antworten: sie werden eben einfach durch sogenannte peristaltische Bewegung abwärts, dem Dickdarm zu, befördert. Dies ist aber nur theilweise richtig. Sie werden nämlich nicht bloss nach unten, sondern auch nach oben, ja oft viel weiter nach oben als nach unten befördert, sie werden über die Darmschleimhaut ausgebreitet. Und zwar habe ich den Eindruck gewonnen, dass die Ausbreitung nach oben mehr in den oberen, die Ausbreitung nach unten mehr in den unteren Abschnitten des Darmes vor sich geht. Das gilt nicht bloss für den Dünndarm, sondern, wenn auch in viel geringerem Grade, auch für den Dickdarm, ja sogar für den Mastdarm, wie übrigens gelegentlich auch Christomanos und schon vor ihm Nothnagel[1]) gesehen hat.

Ich theile aus den Versuchen des Ersteren einen mit, da ich denselben für grundsätzlich wichtig erachte und da ich selbst nicht selten ähnliche Beobachtungen gemacht habe. Ein Kaninchen in einem warmen Kochsalzbad von 38° C. zeigte bei Eröffnung seines Leibes den platten Dünndarm, der „keine deutlichen peristaltischen, constant dagegen fortwährende schwache Pendelbewegung" aufwies. „Der Blinddarm lag strotzend gefüllt bewegungslos da. Im Dickdarm und Mastdarm herrschte Anfangs Ruhe."

„Wird nun das Klysma (physiolog. Kochsalzlösung mit Berliner Blau versetzt) applicirt, so sieht man die gefärbte Flüssigkeit sofort 10—20 cm weit hinauflaufen, dann dringt dieselbe rascher oder langsamer, durch die Spannung der gedehnten Darmwand getrieben, noch um einige Centimeter zwischen dieser und dem geformten Inhalte hinauf." Ich frage hier, warum treibt denn diese erhöhte Spannung

---

1) Zeitschrift für klin. Med. Bd. 4 S. 223, 422 und namentlich 532. 1882.

die Massen nicht nach unten, sondern nach oben? Das ist doch höchst merkwürdig und um so merkwürdiger, als man glauben sollte, dass der Abfluss nach unten viel leichter von statten gehen müsste als die Bewegung nach oben zwischen der Darmwand und den Kothballen hinauf, die doch den Darm geradezu verstopfen.

„Erst im Verlaufe von einigen Stunden," fährt Christomanos fort, „hat dieselbe (nämlich die Flüssigkeit), wenn auch nicht immer, doch oft, theils durch Mischung oder durch die Peristaltik selbst, die mittleren und auch die oberen Dickdarmabschnitte erreicht." Ich füge hinzu, hat also einen Weg von etwa 100 cm[1]) in einem mit mehr oder weniger festen Massen erfüllten Darme antiperistaltisch, d. h. gegen den Magen zu, zurückgelegt.

Nach Zeiten der Ruhe und „nach auf- und absteigenden Contractionen, die jedoch keine endgültige Fortbewegung des Inhaltes zur Folge hatten" (aber doch wohl eine Bewegung hin und her erzeugten), „sah man zuweilen einen Kothballen, durch eine peristaltische Welle herunter getrieben, den flüssigen Inhalt darunter liegender Darmpartieen in der Weise verdrängen, dass ein kleiner Theil desselben als capillare Schicht der Darmwand entlang hinauffloss. Man konnte durch die dünne Darmwand ganz deutlich sehen, wie die blauen Körnchen in dem Moment etwas hinaufstiegen, als das Skybalon herabrückte."

Ich habe diesen zutreffenden Schilderungen nur noch hinzuzufügen, dass ich oft im höchsten Maasse erstaunt war, wie kleine Flüssigkeitsmengen in dem Dickdarm ausserordentlich schnell nach oben getrieben wurden. Ich will auf die Besprechung der Kräfte, welche alle diese von Nothnagel, Christomanos und mir beobachteten antiperistaltischen oder, um einen indifferenten Namen zu haben, gegenläufigen Strömungen veranlassen, zunächst nicht weiter eingehen, sondern nur noch einmal betonen, dass selbst in den trägen unteren Darmabschnitten, sobald sie auch nur geringe Mengen von Flüssigkeiten enthalten, diese sich nach oben und nach unten, ja oft viel mehr nach oben als nach unten ausbreiten.

In noch viel höherem Maasse gilt dies für den beweglichen Dünndarm. Es ist erstaunlich, in welch' kurzer Zeit sich oft Flüssigkeiten und in ihnen aufgeschwemmte kleine Körperchen nach unten und auch nach oben fortbewegen. Bedingung ist aber immer, dass

1) Vgl. W. Krause, Anatomie des Kaninchens S. 60. Leipzig 1884.

der Darm Flüssigkeit enthält, dass er nicht — wie es z. B. bei Hunden und Katzen häufig vorkommt — ganz trocken ist.

Spritzt man z. B. bei Katzen, über die ich allein Erfahrung habe, geringe Mengen von Flüssigkeiten mit kleinen Körperchen ein, so breiten sie sich oft nicht so bedeutend — wiewohl auch nach oben und nach unten — aus, und die der Flüssigkeit beraubten Körperchen (Tusche, Lycopodiumkörnchen) kleben an der trockenen Darmwand fest. Die Aufsaugung von Flüssigkeiten erfolgt offenbar von der Darmschleimhaut der Fleischfresser — wie auch kürzlich Höber[1]) beobachtet hat — viel schneller als von der der Pflanzenfresser. Hier sind alle Verdauungssäfte viel dünnflüssiger und dementsprechend auch der ganze Darminhalt viel wasserreicher, und er bleibt es bis tief hinab, bis in die unteren Abschnitte des überaus langen Dünndarms.

Am schnellsten und weitesten bewegten sich nach meinen Beobachtungen Flüssigkeiten beziehungsweise die in ihnen aufgeschwemmten Körperchen bei Meerschweinchen und Ratten, die gegen 40—50 Stunden gehungert hatten. Kaninchen haben selbst nach so langem Hunger noch einen recht vollen Magen und Darm, sodass es oft schwer ist, in diesem Futterbrei die kleinen eingeführten Körperchen zu finden. Sie breiten sich auch entschieden nicht so weit, weder nach oben noch nach unten, aus, als wenn der Darm, wie bei oben genannten Thieren, leerer, d. h. nahezu frei von Futter, und nur mit etwas Flüssigkeit erfüllt ist.

Es ist hier der Ort, noch an die eingehenden Versuche von Nothnagel (s. oben) zu erinnern, die er über die Fortbewegung von Flüssigkeiten anstellte, welche er so wie ich in den Darm eingespritzt hatte. Handelte es sich um stark reizende Flüssigkeiten, wie 27—30 %ige Kochsalzlösung, so breiteten sich dieselben innerhalb ganz kurzer Zeit durch Erzeugung von unmittelbar sichtbaren, ab- und aufwärts fortschreitenden, circulären Zusammenziehungen weithin aus. Indifferente Flüssigkeiten wie Wasser oder Olivenöl blieben dagegen an Ort und Stelle liegen.

Nun das ist gewiss richtig für die verhältnissmässig kurze Dauer einer unmittelbar darauf folgenden Beobachtung, aber es gilt selbstverständlich nicht für längere Zeit. In dieser breiten sich jene reizlosen Stoffe, namentlich schwache Salzlösungen, in ganz ähnlicher

1) Pflüger's Archiv Bd. 70 S. 624 (628). 1898.

Weise aus, wie in der kurzen Zeit die stark reizenden Stoffe, d. h. nach oben und nach unten, freilich nicht durch gewaltige, schnell auf- und abwärts schreitende circuläre Zusammenschnürungen, wohl aber durch langsamere, in ihrem Wesen und in ihrer Wirkung gleichartige Vorgänge.

Nachdem wir so gesehen haben, was mit unschädlichen Flüssigkeiten und den in ihnen aufgeschwemmten Körperchen geschieht, wenn man sie in den Mastdarm oder in irgend welche Abschnitte des Dünndarmes bringt, nachdem wir gesehen, dass sie sich oft in verhältnissmässig kurzer Zeit nach unten und nach oben weithin ausbreiten, so müsste man sich eigentlich wundern, wenn von den in den Mastdarm eingeführten Flüssigkeiten und ihrem Inhalt nicht auch hin und wieder Einiges in den Dünndarm kommen sollte.

Und das ist, wie gesagt, nach meinen zahlreichen neueren, namentlich an weissen Ratten angestellten Versuchen unzweifelhaft, der Fall. Statt der grossen Anzahl von Versuchen seien einige als Belege angeführt.

Versuch. 31. October 1897.

Eine männliche mittelgrosse Ratte hungert seit 48 Stunden und erhält um 8 Uhr 45 Minuten aus einer Glasröhre, in welcher ein dicht schliessender Stempel sich bewegte, 0,3 ccm folgender Mischung (0,4 g Sem. Lycopod., 0,2 g Gummi arab. und 1,8 ccm NaCl 0,6 %) in den After. Sie befindet sich während der Injection, welche in einem andern Zimmer vorgenommen wurde, damit nicht etwa Lycopodium verstäubt werden konnte, in einem Lampencylinder, dessen unteres Ende mit frisch ausgeglühtem Drahtgeflecht zugebunden war. Nahe dem Drahtgeflecht befand sich der Kopf der Ratte. Nach beendeter Injection verschloss man den hinteren Theil des Cylinders mit Watte und mit einem oder mehr Korkpfropfen, durch den der Schwanz der Ratte nach aussen gezogen und am Hineinschlüpfen verhindert war. Der ganze Cylinder wurde mit ein Paar Fäden umschnürt, so dass die Ratte unmöglich ihre hinteren Extremitäten oder ihren Schwanz nach vorn bringen konnte. So lag sie wie ein „Muster ohne Werth" verschnürt, ein paar Stunden still da. Hierauf wurde sie vorn aus dem Cylinder ein wenig herausgelassen und ihr der Kopf mit einer Scheere abgeschnitten.

Die Ratte hat einen Theil des Klysmas mit einem Kothballen entleert, der hinten an der Watte haftet. Im Mastdarm befindet sich noch ein Kothballen, mit viel Lycopodium umgeben. Mikroskopisch untersucht, ist der obere Theil des Dickdarms frei von Lycopodium, dagegen lässt sich dasselbe im Dünndarm nachweisen, der namentlich in seinen untern Abschnitten bald hier, bald dort ziemlich viel gallige Flüssigkeit enthält. Untersucht man diese flüssigen Massen, so findet man in ihnen Lycopodium, d. h. in einem Präparat immer nur ein Paar Körnchen; an den trockenen Darmstellen

ist keines zu finden; hier trifft man nur Trümmer von Darmschleimhaut. Dagegen war 2, 3,5, 12, 22 cm oberhalb der Bauhin'schen Klappe und im Duodenum an den bezeichneten Stellen Lycopodium zu finden.

Versuch 2. 2. November 1897.

Eine männliche mittelgrosse Ratte hungert seit 48 Stunden und erhält um 11 Uhr eine Einspritzung von folgender Emulsion: Olivenöl, mit Alcanna roth gefärbt, 1,2 ccm, einprocentige Sodalösung 2,0 ccm, Stärke 0,2 g, Gummi arab. 0,2 g. Nur ein Theil der Emulsion wird ihr beigebracht. Sie entleerte während der Injection drei Kothballen mit etwas röthlicher Flüssigkeit; hierbei befindet sie sich in dem Cylinder, der dann wieder in oben beschriebener Art verschnürt wird.

Um 1 Uhr 40 Minuten wird die Ratte getödtet. Der Dickdarm enthält hin und wieder in seinen oberen Abschnitten wenig breiige schwärzliche Massen, der Dünndarm hier und dort gallig gefärbte Flüssigkeit. Mikroskopisch untersucht, zeigt nicht bloss der Dickdarm, sondern auch der Dünndarm, d. h. seine galligen Inhaltsmassen, und zwar um so weniger, je höher hinauf man ihn untersucht, ziemlich reichlich Fettkügelchen. Da sie in ihrem Aussehen mit denjenigen in der Emulsion übereinstimmen, so bin ich nicht zweifelhaft, dass die in den unteren Darmabschnitten nachweisbaren Fettkügelchen vielleicht ganz, die in den oberen befindlichen grösstentheils von der Emulsion herstammen.

Es ist nämlich hier auf eine Fehlerquelle aufmerksam zu machen. Ich war bei den vielfachen Untersuchungen des Darminhaltes hungernder Ratten überrascht, dass ich in demselben so häufig (wenn auch natürlich nicht entfernt in der Menge, wie in obigem Versuch), stark Licht brechende Kügelchen vorfand, die ich als Fett ansprechen musste. Sollte da vielleicht die Leber ihr Fett in den Darm abgeben, damit es dem allgemeinen Stoffwechsel zu Gute kommt?

Versuch 3. 3. December 1897.

Eine weibliche Ratte hungert seit 48 Stunden und erhält um 11 Uhr ein Klysma von etwa 0,3 ccm folgender Mischung Bismuth. subnitric., Sem. Lycopod., Gummi arab. aa 0,1 g mit 1 ccm NaCl 0,6 % unter den erwähnten Vorsichtsmaasregeln. Um 2 Uhr 15 Minuten wird sie getödtet.

Im Dickdarm befinden sich bis etwa 5 cm oberhalb des Afters 3 Kothballen. Ganz unten am Darmende sieht man einen Theil der eingespritzten Massen. Mikroskopisch untersucht enthalten die unteren Abschnitte des Dickdarms unzählige Lycopodiumkörnchen und viele weisse und bräunliche Krystalle, offenbar Wismuthsalzkrystalle. Oberhalb der Bauhin'schen Klappe findet sich im Dünndarm vielfach galliger, flüssiger Inhalt, z. Th. mit schwärzlichen Massen durchsetzt. 1,5, 3,5, 17 und 30 cm oberhalb der Klappe trifft man Lycopodiumkörnchen und Krystalle. Im Duodenum findet man schwärzliche, krystallähnliche Massen, die vielleicht Wismuthkrystalle sind; im Magen schwärzliche Massen neben wenig braunrothem Inhalt.

Auf Grund dieser und einer grossen Menge mit der peinlichsten Sorgfalt angestellter ähnlicher Versuche trage ich, wie gesagt, kein Bedenken, zu behaupten, dass kleine Körperchen selbst von dem Mastdarm aus unter günstigen Bedingungen, namentlich wenn genügend Flüssigkeit in den Därmen vorhanden ist, weit aufwärts wandern können. So wird diese Aufwärtswanderung mitunter entschieden befördert, wenn man den Thieren vor der Einführung des eigentlichen Klysmas den Darm durch ein Kochsalzklystier reinigt und ihn dadurch mehr oder weniger mit Flüssigkeit anfüllt.

Ich neige mich um so mehr zu dieser Ansicht, als, wenn man die betreffenden Versuche nicht mit der nöthigen Vorsicht anstellt, also die Thiere nach dem Klysma sich selbst überlässt, sie eben ganz und gar anders ausfallen. Dann findet man massenhaft, oft in kleinen Anhäufungen, namentlich im Magen und in den oberen Abschnitten des Darmes, die im Klysma eingeführten Substanzen. Man kann sie auch häufig mit blossem Auge sehen.

Ich verfüge nun weiter auch über einige positive Versuche am Menschen. Die Versuchspersonen assen Abends nur wenig flüssige Nahrung. Am nächsten Morgen, nachdem sie defäcirt hatten oder nachdem die Defäcation durch ein Reinigungsklystier von physiologischer Kochsalzlösung ausgelöst worden war, erhielten sie etwa 200 ccm körperwarm von folgender Mischung: Lycopodium 50,0 g, Weizenstärke 260,0 g, Traubenzucker 5,0 g, Gummi arabicum 5,0 g, Kochsalzlösung 600,0 g von 0,6 %. Die trockene Masse wurde erst mit wenig Flüssigkeit und, wenn sich das Lycopodium in Folge des Gummis und Zuckers gut und gleichmässig mit der Flüssigkeit gemischt hatte, weiter verdünnt.

Die Versuchspersonen blieben dann entweder im Bett liegen oder bewegten sich mässig im Freien. Nach 4—5 Stunden wurde ihnen der Magen mit etwas Wasser ausgespült; das Ausgespülte filtrirt und in dem Filtrate nach dem Lycopodium gesucht.

Man beobachtete selbstverständlich die peinlichste Sauberkeit und ging so vorsichtig, wie nur irgend möglich, zu Werke. Von 11 Versuchen fielen 7 positiv aus, d. h. man konnte in dem Ausgeheberten hier und da ein Lycopodiumkorn finden. Selbstverständlich machte man nicht ein, sondern stets mehrere Präparate. In drei Versuchen wurde im Magen kein Lycopodium gefunden, in einem dagegen eine überaus grosse Menge. Die Versuchsperson

hatte vielleicht in der Meinung, diese gelbe, dicke Flüssigkeit sei ein leckeres Gericht, ein wenig davon genascht.

Da ich nicht weiss, wie man diese (in Gemeinschaft mit Dr. Sauberschwarz ausgeführten) Versuche vorsichtiger und sorgfältiger anstellen soll, so muss ich also auch aus ihnen schliessen, dass unter günstigen Umständen, wozu immer in erster Linie eine gewisse Flüssigkeitsmenge im Darm gehört, Flüssigkeiten und kleine in ihnen aufgeschwemmte Körperchen den Darm gegenläufig hinauf wandern können.

Ein weiterer Umstand, welcher das Zustandekommen dieser gegenläufigen Bewegung offenbar begünstigt, ist, so sonderbar das auch klingen mag, eine relative Ruhe der Därme. Dieselben dürfen vor Allem nicht in solchen Bewegungen begriffen sein, welche ihren Inhalt mit grosser Kraft hinab befördern, wie dies bei gefüllten Därmen nach der Nahrungsaufnahme in der Regel der Fall ist. Und von diesem Gesichtspunkt aus ist wohl auch die Wirkung der schwachen Kochsalzlösung aufzufassen, wenn man sie in irgendwie nennenswerthen Mengen in den Darm einführt. Sie wirkt nicht reizend, d. h. sie erzeugt keine rechtläufigen, starken Bewegungen des Inhaltes, sondern unterstützt die Ausbreitung des Inhaltes auf möglichst grosse Flächen. Diese Ausbreitung aber ist von wesentlicher Bedeutung für die Resorption der in dem Darm befindlichen Flüssigkeiten. Und wohl wesentlich desshalb unterstützt, wie ich dies schon in meiner ersten Mittheilung vermuthungsweise ausgesprochen habe, Zusatz von geringen Kochsalzmengen zu Klystieren die Resorption der eingeführten Lösungen in hohem Maasse. Ist ja doch der ganze Vorgang der Resorption auf einer Ausbreitung des Inhaltes basirt und durch ausserordentliche Vergrösserung der Darmoberfläche allein — wenigstens in der kurzen Zeit — möglich gemacht! Denn ohne Zotten und Falten hätten wir vielleicht einen 20 mal so kleinen[1]) Darm, sagen wir also bei gleichem Lumen etwa einen Darm von 50 cm!

Wie sehr die Aufnahme von in den Mastdarm eingeführten Eiweisslösungen durch gleichzeitigen Zusatz von Kochsalz gefördert wird, ist längst durch einwandsfreie Untersuchungen — ich nenne hier nur die ersten von Voit und Bauer[2]), sowie von Eichhorst[3]) — be-

1) Vgl. R. Heidenhain, Pflüger's Archiv Bd. 43, 1888, Supplementband und H. Vierordt, Daten und Tabellen S. 78. Jena 1893.

2) Zeitschrift für Biologie Bd. 5 S. 536. 1869.

3) Pflüger's Archiv Bd. 4 S. 570. 1871.

kannt. Ganz neuerdings hat nun Deucher[1]) unter Sahli's Leitung eine höchst interessante und, wie mir scheint, auch praktisch wichtige Untersuchung veröffentlicht, aus der hervorgeht, dass auch die Aufnahme von in gleicher Weise beigebrachten, emulgirten Fetten durch Zusatz von physiologischer Kochsalzlösung gefördert wird, meiner Ueberzeugung nach aus ganz denselben Ursachen.

Wenn der äusserst geringfügige Zusatz von Kochsalz bei meinen oben mitgetheilten Versuchen günstig gewirkt hat, so ist neben jener Ausbreitung vor allen Dingen der Umstand zu berücksichtigen, dass die mit Kochsalz versetzten und durchtränkten Massen eben im Darm bleiben, andere aber viel eher, weil sie offenbar viel stärker reizen, ganz oder grösstentheils hinaus befördert werden. Wenn aber nichts im Darm bleibt, kann auch nichts ausgebreitet werden.

Wir wenden uns nun zum Schluss der Frage zu, welcher Art ist die normale Bewegung des Darmes, und vor allen Dingen, wie bewegt sich der Darminhalt? Wenn ich zunächst eine der neuesten Arbeiten auf diesem Gebiete von einem Verfasser zu Rathe ziehe, dem in gleicher Weise eine ebenso reiche klinische wie experimentelle Erfahrung zur Seite steht, ich meine von Nothnagel[2]), so drückt sich derselbe hierüber folgendermaassen aus. Die physiologischen Bewegungen des Darmes weisen im Wesentlichen zwei Typen auf: 1) „Die eigentliche peristaltische Bewegung, bei welcher eine Verengerung und Erweiterung stattfindet, die mit mässiger Schnelligkeit eine gewisse Strecke analwärts schreitet und den Inhalt in derselben Richtung vorwärts schiebt.“ 2) „Pendelnde Bewegungen, wobei ein und dasselbe Darmstück meist auf die Länge einiger Centimeter hin, abwechselnd in der einen und anderen Richtung der Längsachse, ohne bemerkbare Lumenveränderung verzogen wird. Ein eigentliches Vorwärtsschieben des Inhaltes findet dabei nicht statt, nur eine Bewegung desselben in dem bestimmten Darmabschnitt selbst.“ Schliesslich findet sich 3) noch ein Bewegungstypus, „der allerdings schon den Uebergang zu den pathologischen Bewegungsformen bildet, aber immerhin noch unter physiologischen Verhältnissen auftreten kann,“ nämlich „die

1) Deutsch. Archiv für klin. Medicin Bd. 58 S. 210, 1896, woselbst auch die Literatur des Gegenstandes sorgfältig zusammengestellt ist.

2) Nothnagel, Die Krankheiten des Darms. I. Darmbewegung. Theil I S. 1. Wien 1895.

Rollbewegungen, bei denen der Inhalt eines über mehrere bis zwanzig Centimeter sich erstreckenden Abschnittes in einer Weise fortbewegt wird, die das Bild einer sogenannten stürmischen Peristaltik veranschaulicht. In lebhafter Eile, so dass die prall gefüllte Darmpartie wie ein rasch sich drehendes Rad hinrollt, wird der Inhalt klappenwärts nach dem Cöcum zu vorbewegt, und zwar in der Weise, dass die circuläre Constriction immer hinter der ausgedehnten Schlinge herläuft. Die Bewegung kommt dann urplötzlich zum Stehen ...., um nach einer beliebigen Pause wieder weiter zu stürmen." Diese Art der Peristaltik fand Nothnagel im Experiment (wie ich hinzufüge, wohl wesentlich an Kaninchen), „wenn neben dünnem Inhalt Gasblasen den Darm ziemlich stark ausdehnen". „Die schmerzlosen, mit stark gurrenden Geräuschen verbundenen Stürme im Dünndarm des Menschen (tormina intestinorum, Kussmaul).... bilden wohl zweifellos das Analogon dieses Phänomens."

Alle diese Vorgänge spielen sich wesentlich an dem schnell sich bewegenden Dünndarm ab. Der Dickdarm ist viel träger und liegt oft lange Zeit ganz ruhig da.

Diesen Schilderungen, die sich wohl wesentlich auf den Darm des Kaninchens beziehen dürften, möchte ich betreffs der Bewegung des flüssigen Darminhaltes noch Folgendes hinzufügen. In den meisten mir zugänglichen Beschreibungen, auch denjenigen Nothnagel's, wird fast immer nur von peristaltischen Bewegungen gesprochen, d. h. von Bewegungen, welche den Darminhalt abwärts befördern, etwa ähnlich, nur etwas langsamer, wie in der Speiseröhre ein Bissen in den Magen befördert wird. Antiperistaltische[1]), d. h. aufwärts, dem Magen zu gerichtete Bewegungen des Darminhaltes sollen in der Norm überhaupt nicht vorkommen. Nun behaupte ich, dass diese beiden Bewegungsarten so zu einander gehören, wie die Erschlaffung des Muskels zu seiner Zusammenziehung. Der flüssige Darminhalt bewegt sich keineswegs bloss abwärts, sondern abwärts und aufwärts, natürlich so, dass er schliesslich abwärts getrieben wird.

Wenn man einen Pendel aus seiner Gleichgewichtslage hebt und dann nach längerer Zeit betrachtet, so wird er sich stets abwärts in dieser Gleichgewichtslage bewegt haben. Wenn nun Jemand behaupten wollte, ein Pendel bewege sich, in die Höhe gehoben, nie aufwärts,

---

1) Siehe z. B. van Braam Houckgeest, Pflüger's Archiv Bd. 6 S. 266 (300). 1872.

sondern immer nur abwärts, weil er schliesslich nach einer gewissen Zeit (in der ihn der Betreffende eben nicht beobachten konnte) in seiner tiefsten Lage still steht, so würde derselbe, wie ich glaube, ungefähr ebenso Recht haben, wie diejenigen, welche behaupten, der Darminhalt bewege sich nur abwärts, weil er schliesslich abwärts getrieben wird. Folgendes diene zur Erläuterung.

Ich finde in Milne Edwards[1]) eine Schilderung, welche diese Hin- und Herbewegung des Darminhaltes mit Recht besonders hervorhebt. Die betreffende Stelle lautet: „Mais les contractions de l'intestin ... ne se succèdent pas toujours dans le même sens et les mouvements péristaltiques qui se dirigent de l'estomac vers le gros intestin alternent irrégulièrement avec des mouvements antipéristaltiques qui ramènent les matières alimentaires vers le pylore" ... „Par l'effet de ces mouvements de va-et-vient, les matières provenant de l'estomac sont donc promenées et ballottées dans l'intestin grèle pendant un temps plus ou moins long."

Ich halte diese von den gewöhnlichen abweichende Schilderung für durchaus zutreffend und möchte, da man die Vorwärts- und Rückwärtsbewegung des Darminhaltes nicht gut ohne Weiteres sehen kann, noch einige dafür sprechende Thatsachen anführen.

Zunächst haben Engelmann und van Brakel[2]) sich davon überzeugt, „dass in allen glatten Muskelhäuten sich die Contraction ebenso gut in antiperistaltischer wie in peristaltischer Richtung fortzuflanzen vermag." An dem Ureter hatte es Engelmann schon früher gezeigt; man konnte es aber auch an den Därmen der verschiedensten Thiere, nachdem dieselben durch Verblutung getödtet waren, auf das Schönste nachweisen. Eine örtliche mechanische Reizung (nebenbei bemerkt eine durchaus nicht physiologische Erregung) erzeugte bei den verschiedensten Thieren eine abwärts- und aufwärtslaufende Welle. Es ist nun von vornherein nicht wahrscheinlich, dass ein derartiger, doch recht complicirter Mechanismus nicht auch unter normalen Verhältnissen, wenn auch nicht in dem Grade und der Stärke, in Anwendung kommen sollte, obwohl, wie ich gern zugebe, die Vorgänge an dem Darm des todten Thieres keineswegs ohne Weiteres auf den des lebenden übertragen werden dürfen.

1) Leçons de la physiologie T. 7 p. 129. 1872.

2) Pflüger's Archiv Bd. 4 S. 33. 1871.

Wenn vielfach gesagt und namentlich auf Grund von älteren Arbeiten behauptet wird, dass in diesen niemals unter normalen Bedingungen antiperistaltische, oder besser gesagt, gegenläufige Bewegungen beobachtet worden sind, so muss ich diesen Angaben widersprechen. So wird beispielsweise behauptet, dass Schwarzenberg[1]), welcher in Gemeinschaft mit Ludwig arbeitete, bei seinen Fistelhunden niemals gegenläufige Bewegungen des Darminhaltes gesehen habe. Allerdings findet sich in besagter Arbeit eine Stelle, welche den Leser zu dieser Annahme verführen kann. Sie lautet: „Die Bewegung des Darmes, durch welche der Inhalt weiter geschafft wird, ist eine peristaltische. Obgleich es uns natürlich nicht vergönnt war, ein längeres Stück des Darmes zu beobachten, so darf man doch mit Sicherheit diesen Schluss unternehmen, weil der Draht (ich füge hinzu ein Bleidraht, der an seinem Ende eine in den Darm eingeführte Wachskugel trug) oder jeder andere Darminhalt bei Beginn einer Darmbewegung nach einer Richtung fortbewegt wurde. Wir sagen: nach einer Richtung; denn nie bemerkten wir, dass in dem oberen Ende der Draht auf längere Stücke (?) eingezogen, oder in dem unteren Ende der Draht, wenn er tief eingebracht war, ausgestossen wäre.“ Gleich darauf aber folgt: „Was jedoch dieser Bewegung in einer Richtung scheinbar widersprach, waren kleine, der gewöhnlichen Richtung von oben nach unten entgegengesetzte Bewegungen, welche sowohl im oberen, wie im unteren Stücke öfters bemerkt wurden.“

Offenbar sind die Forscher hier in der Ansicht befangen, man könne die an der Speiseröhre beobachteten und kurz vorher ebenfalls von Ludwig und Wild[2]) studirten Bewegungen ohne Weiteres auf den Darm übertragen, was aber meines Erachtens durchaus unzulässig ist; denn durch die Speiseröhre werden die Speisen nur hindurchgetrieben, im Darm aber werden sie herumgetrieben und zugleich chemisch verändert und resorbirt.

Aus der Arbeit von Schwarzenberg seien noch einige, die gegenläufige Bewegung des Darminhaltes beweisende Thatsachen mitgetheilt. Bei einem Schäferhunde, der 24 Stunden gehungert hatte, wurde eine an einem Draht befestigte Wachskugel in das obere Ende der Darmfistel (es handelt sich immer um tiefere Abschnitte des

1) Zeitschr. f. rationelle Medicin Bd. 7 S. 311 (318, 322, 323 u. s. w.). 1849.
2) Zeitschrift für rationelle Medicin Bd. 5 S. 76 (119). 1846.

Dünndarms, („wo er in den Dickdarm übergeht") mehrere Male eingeführt. Sie wird nach kürzerer oder längerer Zeit ausgestossen. „10 Uhr 30 Minuten wurde eine Wachskugel in das untere Darmende eingebracht, 10 U. 39 M. herausgetrieben," also, wie ich hinzufüge, antiperistaltisch bewegt (S. 323); dann weiter (S. 325) von einem anderen Hunde: „der Stab mit der Kugel rückt vorwärts in's obere Ende" (S. 327). „6 Uhr 15 Minuten: aus dem oberen Ende geht Koth ab." „6 Uhr 16 Minuten: der Draht wird im oberen Ende stark zurückgezogen, dann vorgestossen" (S. 328). „Kleine mit Pausen eintretende Bewegungen, mit Rückwärts- und Vorwärtsgehen" (nämlich der Kugel).

Aus diesen und vielen anderen Angaben geht also unzweifelhaft hervor, dass in den unteren Abschnitten des Dünndarmes beim Hunde peristaltische und antiperistaltische Bewegungen mit einander abwechseln und keinesfalls bloss die ersteren vorhanden sind. Offenbar ganz das Gleiche gilt, vielleicht in noch viel höherem Maasse, für den Dünndarm des Menschen. Ich erinnere hier an den wichtigen und allgemein bekannten Fall einer hohen Dünndarmfistel beim Menschen, welchen Busch[1]) des Genaueren beschrieben und wissenschaftlich verwerthet hat, und erwähne von dem vielen Wissenswerthen und Interessanten, welches dieser Fall bietet, nur Folgendes: „Wenn wir Nahrungsstoffe," sagt Busch, „in den untern nach den Mastdarm führenden Theil des Darmes brachten, so kam es zuweilen vor, dass einzelne Portionen davon selbst mehrere Stunden und bei fetten Körpern selbst Tage nach der Einführung wieder aus der Oeffnung zum Vorschein kamen. Die dieser Oeffnung am allernächsten liegenden Theile des Inhaltes konnten zwar durch einen zufällig von aussen einwirkenden Druck heraus befördert werden, wie man sich durch Streichen mit dem Finger überzeugen konnte; es kamen aber nicht nur die nächstliegenden Portionen zum Vorschein, sondern man konnte auch sehen, dass hinter einander mehrere wurstförmige, durch Darmschleim zusammengeballte Massen hervortraten, welche, an einander gelegt, doch im Darm auf einige Zoll herabgereicht hätten. Einmal wurde uns auch ein Tüllbeutel mit eingeschlossenen Nahrungsstoffen, dessen blindes Ende mindestens zwei bis drei Zoll von der Oeffnung entfernt lag, wieder nach aussen geworfen. Ferner wurde beobachtet, dass fast täglich etwas Darmschleim nach oben aus-

1) Virchow's Archiv Bd. 14 S. 140 (152). 1858.

geworfen wurde. Somit liessen sich in unserem Falle zuweilen die Wirkungen der antiperistaltischen Bewegung beobachten."

Suchen wir uns nun einmal klar zu machen, wie diese „antiperistaltischen" Bewegungen, die man nicht selbst, sondern nur in ihren Wirkungen zu beobachten Gelegenheit hat, zu Stande kommen, wie überhaupt die Bewegung des Darminhaltes in den Dünndarm sich gestaltet. Der Inhalt des Dünndarms ist im Wesentlichen eine Flüssigkeit, in welcher grössere und kleinere Stückchen der aufgenommenen Nahrungsbestandtheile schwimmen. Diese Flüssigkeit ist nun, wie Jeder einsieht, sehr leicht zu bewegen. Ziehen sich in einem grösseren oder kleineren Darmabschnitt die Ringfasern zusammen, so muss die Flüssigkeit nach beiden Seiten hin ausweichen und wird sich natürlich wesentlich dahin begeben, wo der geringere Widerstand ist. Ziehen sich in ähnlicher Art eine Gruppe Längsfasern zusammen, so wird, worauf zuerst Auerbach und später Exner aufmerksam machte, der betreffende Abschnitt erweitert[1]). Hierdurch wird Flüssigkeit in ihn heineingesaugt, und zwar wird wesentlich von da Flüssigkeit eintreten, wo der grössere Druck herrscht. Gerade die entgegengesetzten Vorgänge müssen sich abspielen, wenn die zusammengezogene Ringmuskelschicht wieder schlaff wird, wodurch eine Erweiterung dieses Abschnittes, und die zusammengezogene Längsmuskelschicht sich wieder ausdehnt, wodurch eine Verengerung des betreffenden Abschnittes eintritt. Da nun wohl nur ausnahmsweise auf beiden Seiten einer contrahirten (oder erweiterten) Stelle die ganz gleichen Druckverhältnisse herrschen werden, so wird eben der Inhalt wesentlich nach einer Seite befördert werden müssen.

Nun kommt aber weiter hinzu, oder ist wenigstens höchst wahrscheinlich, dass mit einer Contraction einer bestimmten Menge von Ringmuskeln auch die unmittelbar benachbarten Längsmuskeln sich zusammenziehen, wodurch von der einen Seite gewissermaassen gedrückt und von der anderen nach eben dieser Richtung gesaugt oder gezogen, also die Bewegung nach dieser einen Richtung unterstützt wird. Erschlaffen die betreffenden Abschnitte, so muss wieder eine entgegengesetzte Bewegung des Inhaltes eintreten.

Und so dürfte in der That die Bewegung sich vielfach vollziehen. Mässige Zusammenziehung von Ringfasern und ebensolche der ab-

1) Vgl. S. Exner, Wiener Akademie-Berichte Bd. 75, 3. Abthlg. S. 6, 1877 und Pflüger's Archiv Bd. 34 S. 310, 1884.

wärts gelegenen Längsfasern, wodurch der grössere Theil der Flüssigkeit nach unten, ein kleinerer Theil nach oben ausweicht. Hierauf folgt die Erschlaffung der beiden Muskelschichten, wodurch die Flüssigkeit — wenn nicht anderweitige Bewegungen sich störend einmischen — nach oben ausweichen muss; denn durch Erschlaffung der Ringfasern wird der höher gelegene Abschnitt des Darmes weiter und durch Erschlaffung der Längsfasern der tiefere enger. Hierdurh muss also eine Hin- und Herbewegung des flüssigen Darminhaltes eintreten. Dies dürften im Wesentlichen die pendelnden Bewegungen sein, die sich immer in gewissen Zeiträumen wiederholen und sich auf dieselben Stellen beschränken.

Andere, wie Mall[1]) in einer höchst beachtenswerthen Arbeit und Raiser[2]) in einer sorgfältigen Studie über unser Thema, fassen ihr Zustandekommen etwas anders auf, indem mir der Eine zu sehr die Thätigkeit der Ringmuskeln, der Andere zu sehr diejenige der Längsmuskeln als die alleinige oder wesentlich wirksame hinstellt.

Wenn nun Raiser des Weiteren diese von ihm als „wogende" bezeichnete Bewegung — nebenbei bemerkt eine Bezeichnung, der ich vor der Bezeichnung „pendelnd" den Vorzug geben würde — für die einzig normale hält, da sie einmal den Darminhalt ganz langsam hinunter befördert und oft bei selbst stundenlanger Beobachtung allein auftritt, so muss ich ihm betreffs des zweiten Punktes Recht geben und betreffs des ersten hinzufügen, dass, wenn jene wogenden Bewegungen wirklich den Darminhalt hinab befördern, etwas Ventilartiges, Fortschreitendes in ihnen enthalten sein muss. Was und ob etwas Derartiges in diesen Bewegungen enthalten ist, das ist ausserordentlich schwer zu sagen; denn wer will jenes leise Wogen mechanisch genau analysiren?

Mall schreibt jenen rhythmischen, wogenden Bewegungen noch die Entleerung des venösen Blutes in die Vena portae zu, was gewiss richtig ist; aber was ich noch einmal hervorheben möchte, weil es auch Mall nicht thut, während es Raiser andeutet, ist, dass durch jene Bewegungen der Darminhalt hin- und hergeführt wird.

An diese Bewegungen schliesst sich nun eine zweite Art an, die sich dadurch charakterisirt, dass sie fortschreitet. Die Zusammenziehung beider Muskelschichten schreitet aller Wahrscheinlich-

1) The Johns Hopkins Hospital Reports Vol. 1. 1889.

2) Beiträge zur Kenntniss der Darmbewegungen. Dissertation. Giessen 1895.

keit nach in der Weise abwärts fort, dass die Zusammenziehung der Längsfasern immer derjenigen der Ringfasern vorausgeht, wodurch eine Bewegung des Inhaltes nach abwärts sowohl durch Druck- wie durch Saugwirkung zu Stande kommt.

Hierbei hat man sich aber vor einem Irrthum zu hüten, der, wie ich glaube, ziemlich vielfach verbreitet ist, nämlich vor der Anschauung, dass bei einem normalen Darm eine starke, die Lichtung desselben mehr oder weniger verschliessende Zusammenschnürung sich ziemlich schnell abwärts bewegt und den Inhalt vor sich her treibt.

Wenn man auch behufs Demonstration von peristaltischen Bewegungen derartige Bewegungen auf diese oder jene Weise (wie Verblutung, Athemnoth, Nikotin) erzeugt und sich vielleicht freut, wenn die Därme recht munter durcheinander kriechen und derartige peristaltische Wellen über sie forteilen, so soll man doch nie vergessen, dass es sich hier zwar um sehr auffällige, aber um keine physiologischen Vorgänge handelt. Sie mögen sich zu den normalen Darmbewegungen verhalten, wie etwa die Verblutungskrämpfe der Körpermuskeln zu den ruhigen, abgemessenen Bewegungen der letzteren.

Auch Mall[1]) und Raiser sowie Nothnagel vertreten diese Anschauungen, denen ich vollkommen beitrete.

Mall unterscheidet daher eine zweite Art peristaltischer Bewegungen, welche er als die normalen betrachtet und die sich von den ersteren wesentlich nur dadurch unterscheiden, dass sie schneckenartig (d. h. etwa 2 cm in einer Minute) über den Darm dahin kriechen, während die ersteren mit Eile (gegen 90 mal schneller) über ihn hinstürmen. Diese normalen sollen dann zum Vorschein kommen, wenn grössere oder kleinere, der Darmschleimhaut anliegende Körper (Wachskugeln, Stroh) langsam hinabbefördert werden. Man merkt, dass Mall wesentlich an Hunden, Andere mehr an Kaninchen gearbeitet haben. Die gewaltige Muskelhaut des Darmes der Fleischfresser ist in der That auch auf diese Art der Peristaltik gut eingerichtet, die verhältnissmässig viel zartere der Pflanzenfresser (und ähnlich diejenige der Menschen) hat es aber immer mehr mit der Fortbewegung von Flüssigkeiten zu thun. Im

1) Die Worte Malls lauten: I must therefore conclude that the classical vermicular wave is pathological rather than physiological.

Wesen aber wird es sich hier wie dort um langsam fortschreitende Bewegungszustände handeln, die eben schliesslich eine Abwärtsbewegung des Inhaltes zur Folge haben.

Wenn nun aber jene Kugeln, wie wir oben sahen, sich trotzdem sehr häufig gegenläufig, dem Magen zu, bewegen, so müssen wir wohl — was Mall nicht zu thun scheint — annehmen, dass dergleichen ringförmige Zusammenziehungen (und entsprechende Erweiterungen) auch in entgegengesetzter Richtung ablaufen. Denn wie sollten sonst jene grösseren, festen Massen aufwärts wandern können? So wie also die abnorme, schnell ablaufende peristaltische Welle nach Engelmann's Untersuchungen sich nach beiden Richtungen ausbreitet, so kann sicher auch die langsame, normale peristaltische Welle ihre Richtung umkehren und zu einer gegenläufigen oder antiperistaltischen werden.

Ich glaube, meine frühere Mittheilung ist desshalb vielfach missverständlich aufgefasst worden, weil Manche, da ich von einer antiperistaltischen Bewegung gesprochen habe, darunter das schnelle Aufwärtswandern einer stark entwickelten Zusammenschnürung verstanden und sich gedacht haben, dass auf diese Weise schnell grössere Mengen der eingeführten Massen nach oben gepresst würden, was man natürlich hätte sehen müssen. Daran ist aber nicht im Mindesten zu denken. Ich habe aber diese missverständliche Auffassung vielleicht mit dadurch verschuldet, dass ich zum Vergleich einen Vorgang herangezogen habe, in welchem man in der That eine gewaltige, weit ausgebreitete Zusammenschnürung gegenläufig sich ziemlich schnell ausbreiten sieht. Dies geschieht bekanntlich, wie Nothnagel[1]) gefunden hat, wenn man auf den Darm eines (nicht hungernden[2]) Thieres einen Kochsalzkrystall legt.

Ich möchte daher hier ganz besonders betonen, dass sowohl die Art dieser Reizung von aussen her, wie ihr Erfolg — die aufsteigende starke Zusammenschnürung — zwar höchst interessante, aber keineswegs normale Vorgänge darstellen.

Ich habe früher und auch neuerdings, wie es auch vielfach von anderer Seite geschehen ist, das Wort „peristaltisch" gleichbedeutend gebraucht mit rechtläufig und „antiperistaltisch" mit gegenläufig. Mall

---

1) Virchow's Archiv Bd. 88 S. 1. 1882.

2) Diese auch von mir vielfach beobachtete Bedingung fand Jacobi, Archiv für experim. Pathologie Bd. 29 S. 171. 1892.

und Andere nannten immer nur die schnell fortschreitenden, also nicht unter normalen Bedingungen vorkommenden Bewegungen die peristaltischen, während er die anderen, langsamen, ganz besonders von diesen unterscheidet und auch oft anders bezeichnet.

Es wird sich daher empfehlen, im Allgemeinen immer nur von rechtläufiger und gegenläufiger Bewegung zu sprechen und das Wort Peristaltik beziehungsweise Antiperistaltik nur auf diejenigen Fälle zu beschränken, wo, wie in der Speiseröhre, im Ureter und Mastdarm, es sich unzweifelhaft um das Fortschreiten einer mehr oder weniger starken Zusammenschnürung beziehungsweise Erweiterung eines Muskelschlauches handelt, gleichgültig, ob dasselbe langsam oder schnell geschieht. Das einmalige Hinaufgepresstwerden von Flüssigkeit in ein Rohr — wie etwa von Harn in den Ureter — (s. S. 27) ist noch keine Antiperistaltik im Ureter, das Hinuntergespritztwerden von Flüssigkeit durch die Speiseröhre, wie es Kronecker[1]) beschrieben hat, keine Peristaltik in der Speiseröhre.

Wenn freilich — und darüber wissen wir noch lange nicht genug — in einem langen Schlauch eine flüssige Masse vorwärtsgedrückt wird und von diesem neuen Ort ein gleich gerichteter Stoss sie wieder in ähnlicher Weise weiter befördert, dann hätten wir allerdings auch eine Art Peristaltik vor uns, freilich eine solche in Absätzen und Sprüngen, wie sie möglicher Weise im Darm vorkommt.

Ich war, wie schon erwähnt, oft erstaunt, wie schnell mitunter kleine Flüssigkeitsmengen in dem Darm ab- oder aufwärts schiessen, gewissermaassen gespritzt werden, und glaube, dass da vielleicht ein ähnlicher Mechanismus, d. h. die nahezu gleichzeitige Zusammenziehung eines grösseren Darmabschnittes die Ursache hiervon ist. Es dürfte dieser Vorgang wohl am ähnlichsten demjenigen sein, den Nothnagel bei Darmverschluss beobachtet und als „Rückstosscontraction“ bezeichnet hat. Es will mir überhaupt scheinen, dass die mannigfachen, bisher wesentlich nur unter pathologischen Bedingungen beobachteten Vorgänge am und im Darm alle nur seltener und vor allem in viel geringerer Stärke und Kraft auch unter physiologischen Bedingungen auftreten.

Nach alledem bin ich durch fremde und eigene Beobachtungen zu der Anschauung gelangt, dass der flüssige Inhalt des Dünndarms, wenn ich so sagen darf, unregelmässig pendelnd

1) Archiv für (Anatomie und) Physiologie S. 446. 1880.

sich abwärts bewegt, etwa einem Spaziergänger vergleichbar, der immer ein paar Schritte vorwärts und wieder rückwärts macht, hierauf mehrere Schritte vorwärts geht, dann längere Zeit stillsteht, und dann, als hätte er etwas vergessen, wieder weit zurückläuft, aber schliesslich doch, wenn auch natürlich viel später, als ein stetig fortschreitender Gänger an seinem Ziele ankommt.

Durch derlei Bewegungen des Darminhaltes erfolgt eine ausgiebige Durchmischung desselben und eine vielfache Berührung mit der Darmschleimhaut, was für die chemische Zersetzung und Resorption der Stoffe von der grössten Bedeutung ist.

Diese Bewegungen gelten nur für die Hauptmassen des Inhaltes. Selbstverständlich werden sich noch vielerlei Verschiedenheiten und Abarten in den Bewegungen einstellen, je nachdem man mehr den Mittelstrom oder den Randstrom ins Auge fasst und es sich um kleinere, an den Wänden haftende Partikelchen handelt.

Was dann weiter die Rückwärtsbewegung des Inhaltes oder einzelner Theile desselben anlangt, so ist sie offenbar verschieden stark in den verschiedenen Abschnitten des Darmes und scheint im Allgemeinen in den höheren Abschnitten ausgiebiger als in den tieferen zu sein. Wenigstens breiteten sich in meinen Versuchen die eingespritzten dünnflüssigen Massen in den oberen Abschnitten des Darmes in der Regel weiter nach oben aus als nach unten. Sie nimmt ausserdem zu mit der Dünnflüssigkeit des Darminhaltes und tritt dann auch auf in den tiefsten Abschnitten des Darmes, im Mastdarm (s. oben S. 499). Sie scheint schliesslich in hohem Maasse entwickelt zu sein im Hungerzustande, in welchem gewissermaassen die geringen Mengen des Darminhaltes noch ein zweites, drittes und viertes Mal u. s. f. auf ihre Verdaulichkeit untersucht und möglichst ausgenützt werden. Hierbei macht es der Darm ähnlich wie manche Leute, die sich erst einen Apfel schälen, und wenn sie ihn gegessen haben, auch noch die Schaalen beknappern.

In diesem Sinne kann man von einer elektiven Peristaltik oder, besser gesagt, Darmbewegung sprechen, indem gewisse im Darm befindliche Stoffe, die namentlich in der interessanten Arbeit von Bokay[1]) genauer untersucht worden sind, den Darm, wenn er in

---

1) Archiv für experim. Pathologie u. s. w. Bd. 23 S. 209, 1887 und Bd. 24 S. 153, 1888. Vgl. hierüber auch Busch ob. S. 17 und S. Mayer, Hermann's Handbuch Bd. 5 Theil 2 S. 447. 1881.

lebhafter Bewegung ist, still stellen, andere sich indifferent gegen ihn verhalten, wieder andere ihn nur zu pendelnden, noch andere ihn schliesslich zu peristaltischen, ja sogar zu stürmischen peristaltischen Bewegungen anregen.

Es liegt nahe, sich möglichst durch den unmittelbaren Augenschein von diesen Bewegungen des Darminhaltes zu unterrichten. Aber alle Eingriffe, welche den Darm blosslegen, lassen die Bewegungen seines Inhaltes nicht mit vollkommener Sicherheit erkennen und sind zudem nicht gleichgültig. Das gilt auch von der Versenkung des Darmes in körperwarme Kochsalzlösung. Diese Lösung ist keineswegs ganz indifferent. Sie erhöht, wie Ringer, Locke[1]) und Andere gezeigt haben und ich vielfach bestätigen konnte, die Erregbarkeit für quergestreifte und, was ich kürzlich gefunden, auch in nicht unbedeutendem Maasse für glatte Muskeln. Desshalb habe ich bei meinen oben mitgetheilten Versuchen, weil ich auch nichts hätte sehen können, die Eröffnung des Leibes und jeden irgendwie grösseren Eingriff vermieden.

In neuerer Zeit aber besitzen wir ja in der Durchleuchtung eines Körpers mit Röntgenstrahlen ein Mittel, um wenigstens gewisse Stoffe sich in dunklem Schatten von dem Gewebe abheben zu sehen. Es wird daher wohl von verschiedenen Seiten der Versuch gemacht worden sein, Stoffe, die für die X-Strahlen undurchlässig oder wenig durchlässig sind, dem Organismus einzuverleiben, um ihre Bewegung im Magen oder Darm zu beobachten. Die ersten, welche meines Wissens derartige Versuche über die Bewegung des Mageninhaltes anstellten, waren Roux und Balthazard[2]), aus deren interessanten Untersuchungen hier mitgetheilt sei, dass behufs Ausstossung der im Magen befindlichen Flüssigkeiten oder halbflüssigen Massen eine in der grossen Curvatur beginnende mässige Einschnürung sich dem Pylorus zu bewegt. Besonders deutlich sieht man die an Menschen und Hunden beobachteten Vorgänge auch am Frosch, wenn man dem Thier, welches einen leeren Magen haben muss, 0,2 g Bismuth. subnitr. in 1 ccm Zuckerwasser (sirop de sucre) beibringt. Dann sieht man im Röntgenbilde (was die beigegebenen

1) Pflüger's Archiv Bd. 54 S. 501, 1893 und Blumenthal, Ebenda Bd. 62 S. 513, 1896.

2) Archives de physiologie, 5me série, Tome 10me p. 85. 1898. Weitere Versuche am Menschen veröffentlichten untern Andern Strauss, Boas und Levy-Dorn (Deutsche med. Wochenschrift S. 77. 1898).

Tafeln deutlich erkennen lassen), wie der anfänglich, namentlich in seinen unteren Abschnitten, stark erweiterte Magen sich im Ganzen, besonders aber vor dem Pylorus, zusammenzieht, sodass ein kleiner Theil des Inhaltes in den Dünndarm, der bei weitem grösste aber aufwärts bis zur Speiseröhre hinein aufsteigt. Hierauf folgt wieder eine Erschlaffung des Magens, sodass der ganze Inhalt wieder, sich ausbreitend, in die Tiefe sinkt u. s. f. Nicht viel anders dürften die Verhältnisse im Darm sein, insofern eben auch hier eine Abwärts- und eine Aufwärtsbewegung zu Stande kommt.

Ich habe ähnliche Versuche, wie Roux und Balthazard, an Fröschen und an Ratten angestellt und will, da dieselben noch keineswegs abgeschlossen sind, nur Folgendes hierüber mittheilen. Die schärfsten Bilder erhält man, wenn man die Thiere etwas Quecksilber verschlucken lässt, ein Mittel, das ja von den älteren Aerzten gegen Darmverschlingung oder Verstopfung angewendet wurde. Zunächst ist es sehr hübsch zu sehen, wie sich da der Magen oft scheinbar vergeblich müht, etwas von den dunklen Massen abzudrücken und dem Dünndarm zu überliefern. Nach 3—4 vergeblichen Versuchen bringt er es fertig, und eine kleine schwarze Kugel trennt sich von der Hauptmasse los und wandert in den Dünndarm. Hier kann man nun sehen, dass sie sich (bei Ratten) — oft überraschend schnell und weit — in der einen und gleich darauf in der entgegengesetzten Richtung bewegt und ganz denselben Weg zurücklegt. Sie muss also wohl in demselben Darmstück hin und her geschoben worden sein. Uebrigens muss man Acht geben, dass, wenn man den auf dem Rücken liegenden, vielleicht gar noch narkotisirten Ratten[1]) Quecksilber in den Mund einflösst, dasselbe nicht in die Lungen kommt. Sonst sieht man oberhalb des Zwerchfelles ein schwarzes Geäst, welches sich bei jeder Athmung streckt und dehnt und auf und nieder bewegt, gleich einem vom Sturme zerzausten Baume; ein merkwürdiger Anblick. Soweit meine spärlichen Erfahrungen reichen, ist weiterhin der Zinnober für Röntgenstrahlen sehr undurchsichtig und daher ebenfalls gut zu Versuchen zu verwenden.

Wenn es verhältnissmässig leicht ist, die Bewegungen des Mageninhaltes zu erkennen, so gelingt dies oft nicht so einfach — wenn

---

1) Späterhin habe ich Ratten und Frösche einfach in passende Pappschachteln gesteckt, die ja für Röntgenstrahlen nahezu durchsichtig sind. Man vermeidet da das immer mehr oder weniger eingreifende Aufspannen oder Narkotisiren.

es sich eben nicht um Quecksilber handelt —, diejenigen im Darm auf dem Schirm zu beobachten. Oft werden die pulverförmigen Massen beim Uebertritt in den Darm so fein vertheilt, dass sie keine deutlichen Schatten mehr werfen, namentlich wenn man etwas zu wenig genommen hat. Man darf also in der Menge der eingeführten Massen nicht zu sparsam sein und sie nicht zu sehr verdünnen.

So konnte ich z. B. bei einer Ratte, der ich die obige Wismuthmischung eingegeben hatte, gar nichts Besonderes sehen, bei einer anderen dagegen, welche kurz vorher etwas Brod gefressen und bald darauf nahezu 1 g Zinnober in Breiform, mit etwas Zucker versetzt, geschluckt hatte, 5 Stunden nach dieser furchtbar rothen Mahlzeit den Magen als einen unregelmässig gestalteten schwarzen Fleck und darunter eine ununterbrochene, sehr lange, etwa 1 mm breite gewundene dunkle Linie erkennen. Sie bewegte sich in langer Zeit so gut wie gar nicht. Der Zinnober sass in geringer Menge entlang der Darmwand fest.

Bei einer andern Ratte, die einen Tag gehungert hatte und eine Viertelstunde vor der Durchleuchtung mindestens 0,5 g Zinnober in obiger Form erhalten hatte, war das Bild ein ganz anderes. Der Magen war länglich, nach dem Pylorus zu verjüngt und im Darm fanden sich verschiedene Stellen von 0,5—1,2 cm lange, ganz von einander getrennte, 2—3 mm breite dunkle Flecke und Striche, die hin und wieder ihren Ort wechselten. Einer von ihnen, der über 1 cm lang war, bewegte sich 3—4 Mal ziemlich schnell über 1 cm hin und her. Dann stand er still.

Es wird noch mancher Funke durch die Röntgenröhre blitzen müssen, ehe man die normale Bewegung des Darminhaltes auf diesem Wege vollkommen klar erkannt hat; so viel aber ist für mich schon jetzt sicher, dass das, was ich auf dem fluorescirenden Schirm gesehen habe, keineswegs meinen oben dargelegten Anschauungen widerspricht, sondern sie im Gegentheil bestätigt, insofern ich eben sehr häufig das Hin- und Hergehen des Inhaltes beobachten konnte.

Schliesslich möchte ich noch auf einige Beispiele gegenläufiger Bewegungen hinweisen in Organen, in welchen man sie am allerwenigsten erwarten würde. Dass zunächst in der Speiseröhre die Heraufbeförderung von Mageninhalt bei vielen Thieren, wie den Wiederkäuern und vielen Raubvögeln, ein durchaus physiologischer Vorgang ist, ist ja allgemein bekannt. Dass hierbei vielfach die

Speiseröhre sich activ betheiligt und nicht bloss wie ein schlaffer Schlauch sich verhält, durch den flüssige oder halbflüssige Massen hindurchgepresst werden, scheint mir sicher. Ich wüsste wenigstens nicht, wie ein Raubvogel eine Kugel „Gewölle" durch seine lange Speiseröhre bringen sollte, wenn diese nicht antiperistaltisch im eigentlichen Sinne des Wortes dabei thätig wäre. Ob ähnliche Bewegungen auch bei anderen Thieren und beim Menschen vorkommen, ist mir nicht bekannt. Jedenfalls sind sie seltene Ereignisse.

Dass aber aus dem Darm Substanzen rückläufig in den Magen eintreten, dürfte auch beim Menschen ein häufiges Vorkommniss sein. Der am Ende einer Verdauungsperiode, also etwa 3—4 Stunden nach einer Mahlzeit ausgeheberte Mageninhalt enthält, wie ich gelegentlich sah, sehr häufig Galle, was, obwohl ja hier Würgbewegungen nicht ausgeschlossen sind, doch die Leichtigkeit dieses Rücktrittes beweist. Herzen[1]) aber beobachtete an einem Menschen mit Magenfistel den Uebertritt von Galle als ein regelmässiges Ereigniss. Andere, wie Quincke[2]), sahen allerdings in dem mässig geöffneten Pylorus geringe Rückwärtsbewegungen von Flüssigkeit, aber „eine Regurgitation von Galle oder trübem Darminhalt nach dem Magen hin kam nie zur Beobachtung".

Dass ferner im Magen selbst rückläufige Bewegungen sich abspielen, ist längst bekannt. Beaumont beschreibt sie schon ganz ausführlich an seinem Fistelkranken, Hofmeister und Schütz[3]) beobachten sie an dem Magen des Hundes, der, dem eben getödteten Thier entnommen, in einer feuchten warmen Kammer untersucht ward. Und auch hier findet sich wieder eine elektive Bewegung, indem wesentlich durch grössere und festere Speisetheile die Muskeln der Pylorusgegend zu dieser Antiperistaltik veranlasst werden, sodass diese Stücke wieder in den Magen zurückkommen und noch ein oder mehrere Male dem Chemismus des Magens unterworfen werden. Dass auch beim Frosch eine ähnliche rückläufige Bewegung stattfindet, ist bereits oben erwähnt.

Neuerdings haben weiter Lewin und Goldschmidt[4]) in

---

1) A. Herzen, Altes und Neues über Pepsinbildung u. s. w. S. 27. Stuttgart 1885.

2) Archiv für experim. Pathologie u. s. w. Bd. 25 S. 369. 1889.

3) Ebenda Bd. 20 S. 1 (11). 1886.

4) Virchow's Archiv Bd. 134 S. 33. 1893.

einer für den Praktiker und Theoretiker gleich interessanten Arbeit gezeigt, dass auch im Harnleiter ungemein leicht rückläufige Bewegungen seines Inhaltes beobachtet werden können. Machen wir uns zunächst einmal vom rein theoretischen Standpunkt klar, unter welchen Umständen dies vorkommen muss. Der Ureter presst, wie man dies am allerschönsten bei einem Kaninchen, dem man Indigo ins Blut gespritzt hat, beobachten kann, in bestimmten, von der Stärke der Harnsecretion abhängigen Zeiträumen ziemlich gleiche, kleine Mengen von Harn aus dem Nierenbecken in die Blase. Wie eine kleine Eisenbahn fährt dann ein kleines blaues Säulchen den Ureter entlang und verschwindet in der Blase. Es ist nun klar, dass der Eintritt dieses Flüssigkeitstropfens in die Blase nur stattfinden kann, wenn der Druck im Ureter grösser ist, als der in der Blase. Es ist daher nicht unmöglich, dass die Blase nahe der Einmündungsstelle des Ureters ein wenig schlaff wird, wenn ein Tropfen Harn von oben in sie hineintritt, oder, was wahrscheinlicher, dass sie überhaupt nur eine so geringe Spannung aufweist, dass diese von der Muskulatur des Ureters leicht überwunden werden kann. Unter keinen Umständen aber wird die Blase — wenn eben kein Rückfluss erfolgen soll — sich gerade in dem Augenblick kräftig zusammenziehen, in welchem die Uretermündung offen ist. Thäte sie dies, oder erhöhte man künstlich durch schnelle Einspritzung von Flüssigkeit den Druck in ihr gerade in diesem Augenblick in ausreichendem Maasse, so müsste die Flüssigkeit aus der Blase in den Ureter hinaufsteigen, und da dieser eine capillare Röhre darstellt, welche sich mit der betreffenden Flüssigkeit benetzt, hierdurch noch in dem Aufsteigen befördert, geradezu hinaufgesaugt werden.

Thatsächlich konnten Lewin und Goldschmidt diese Beobachtung anstellen. Spritzten sie Flüssigkeit in die Harnblase gerade in dem Augenblick, in welchem eine Welle im Ureter herabfuhr oder eben herabgefahren war, so schoss oft diese Flüssigkeit den Ureter hinauf bis zur Niere und lähmte ihn dann, indem immer mehr nachfloss, offenbar durch zu starke Spannung, sodass er mit der Flüssigkeit prall gefüllt blieb. Manchmal erfolgte die Rückwärtsbewegung der Flüssigkeit im Ureter langsamer. So traten z. B. einmal nach Einführung von 10 ccm warmer Milch in eine kleine (d. h. wenig gefüllte) Blase eines mittelgrossen männlichen Kaninchens „lebhafte peristaltische Bewegungen des Ureters auf, denen alsbald, abwechselnd mit ihnen, deutlich antiperistaltische antworteten. Sehr

schön sah man bei dieser rückläufigen Bewegung Milch in den Ureter hinaufsteigen beziehungsweise in ihn hinaufgesaugt werden".

Es entsteht die wichtige Frage: Sind derlei gegenläufige und antiperistaltische Bewegungen, welche neuerdings auch Courtade und Guyon[1]) regelmässig an Kaninchen bei einem in der Blase erzeugten Druck von etwa 20 mm Quecksilber beobachtet haben, normal, und kommen sie, wenn auch selten und ausnahmsweise, unter normalen Verhältnissen vor? Oder bedarf es dazu besonderer künstlicher Eingriffe, welche den Druck in der Blase in allzu kurzer Zeit, sei es nach der positiven, sei es nach der negativen Seite, derart verändern, dass die träge Muskulatur nicht nachkommen kann und gewissermaassen überrumpelt wird? Denn dieser jähe Druckwechsel ist wohl — abgesehen von besonderen Erkrankungen der Blase und ihrer Muskelhaut — die wesentliche, wenn nicht die einzige Ursache des Rücktrittes von Harn aus der Blase in den Ureter. Hieraus würde sich die praktische Folge ergeben, Flüssigkeiten aus der Blase heraus und namentlich in sie hinein nur mit einer Geschwindigkeit fliessen zu lassen, die der Geschwindigkeit bei natürlicher Entleerung oder Anfüllung gleich käme.

Ich getraue mir nicht, zu sagen, ob nicht hin und wieder ohne besondere Erkrankungen der Blase oder des Ureters derartige Rückwärtsbewegungen des Harnes vorkommen. Die leichte Uebertragung von Erkrankungen der Blase auf die Nieren spricht eher für, als gegen diese Annahme.

Und da wir jetzt so lange in reactionärem Fahrwasser geschwommen sind und alle unter physiologischen oder nahezu physiologischen Bedingungen erfolgenden Rückwärtsbewegungen erwähnt haben, so mag zum Schluss auch noch auf einen pathologischen Vorgang hingewiesen sein, der sich auch durch Rückwärtsbewegung von Massen auszeichnet, wo man lediglich Vorwärtsbewegung erwartete, nämlich den von v. Recklinghausen sogenannten „retrograden Transport" von Körnchen oder Gewebsstückchen gegen den Venenstrom. Derselbe wird bekanntlich dadurch gekennzeichnet, dass grössere, etwa in die Vena jugularis eingeführte Körner (Grieskörner), welche die Capillaren unmöglich passiren können, in den

1) Comptes rendus de la soc. de biologie p. 556, 1894, bez. Centralblatt für Physiologie Bd. 9 S. 29. 1896.

venösen Capillaren der Extremitäten, der Nieren oder des Gehirnes angetroffen werden.

Indem ich mich über die Art, wie diese rückläufige, kürzlich von Ribbert[1]) des Genaueren studirte Bewegung sich vollzieht, nicht eingehender äussere, genügt es für mich, darauf hinzuweisen, dass sie unzweifelhaft vorhanden ist in einem Röhrensystem, in welchem ein ziemlich schneller und in der Hauptsache nach vorwärts gerichteter Flüssigkeitsstrom sich bewegt. Wenn hier derartige Verschleppungen vorkommen, so müsste, wie schon oben angedeutet, es auffällig erscheinen, wenn nicht auch in einem mit Flüssigkeit mehr oder weniger erfüllten Darm, in welchem diese Flüssigkeit unzweifelhaft auf und nieder wogt, ähnliche, oft über weite Strecken ausgedehnte Verschleppungen und Rückwärtsbewegungen vorkommen sollten.

Schliesslich möchte ich noch allen den Herren, die mich bei den obigen Untersuchungen unterstützt haben, meinen Dank sagen, namentlich den Herren Collegen Oberbeck und Bruns für die Ueberlassung ihrer Röntgenapparate und Herrn Collegen Siemerling, in dessen Klinik die S. 503 erwähnten Versuche angestellt wurden.

1) Centralblatt für allg. Pathologie u. pathol. Anatomie Bd. 8 S. 433. 1897.

(Aus dem deutschen physiologischen Institut in Prag.)

Ueber die viscero-motorischen Functionen der Hinterwurzeln und über die tonische Hemmungswirkung der Medulla oblongata auf den Darm des Frosches.

Von

E. Steinach,
Professor an der deutschen Universität in Prag.

Inhalt:

Im Jahre 1893 habe ich in einer kurzen Mittheilung[1]) auf Versuche an Esculenten hingewiesen, welche mich lehrten, dass, abgesehen vom Vagus, auch die hinteren Rückenmarkswurzeln sich an der motorischen Innervation des Darmtractus betheiligen. Diese gemeinschaftlich mit Dr. H. Wiener angestellten Versuchsreihen wurden, um die Functionsgebiete der Wurzelpaare näher festzustellen und ein grosses statistisches Material anzuhäufen, längere Zeit fortgesetzt und im Jahre 1895 unter ausführlicher Schilderung der beobachteten Bedingungen und Cautelen veröffentlicht[2]). In jüngster Zeit sind nun unsere diesbezüglichen Angaben von Horton-Smith[3]) bestritten worden. Nur in einigen Punkten stimmt derselbe mit uns überein. Er bestätigt nämlich unseren Befund, dass der

1) „Lotos", Jahrbuch der Naturwissenschaft. Neue Folge Bd. 14. Prag 1893.
2) Dieses Archiv Bd. 60 S. 593—622. 1895.
3) Journal of Physiology Vol. 21 p. 101. 1897.

Vorderdarm und Mitteldarm von den Vorderwurzeln nicht versorgt wird, und vertritt auch mit uns die alte Lehre, dass vordere Wurzeln den Enddarm und die Blase innerviren. Der wesentliche Unterschied in den gegenseitigen Anschauungen liegt in dem Umstande, dass Horton-Smith für den Vorderdarm und Mitteldarm lediglich die Nervi vagi, für den Enddarm und die Blase lediglich die Vorderwurzeln als Bewegungsnerven gelten lässt.

Man sollte glauben, dass Horton-Smith, welcher unter Leitung Prof. Langley's arbeitete und sich die Ueberprüfung unserer Ergebnisse zur Aufgabe machte, wenigstens auf einige der von mir nachdrücklichst empfohlenen Versuchsbedingungen Rücksicht genommen hätte. Dies ist nicht geschehen. Ich habe gleich beim Durchlesen der Schrift den Eindruck gewonnen, dass das von Horton-Smith eingeschlagene Verfahren so ziemlich alles unterlassen hatte, was zu einer Reproduction der motorischen Reizwirkungen der Hinterwurzeln erforderlich war. Für jene Fachgenossen, welche der vorliegenden Frage ein regeres Interesse entgegenbringen, oder welche sich vielleicht später selbst mit dem Gegenstande beschäftigen wollen, dürfte eine Besprechung der Versuche von Horton-Smith von einigem Werthe sein, und mit dieser Bestimmung erlaube ich mir die folgenden Bemerkungen vorzulegen.

Gleichzeitig ergreife ich die Gelegenheit zur Mittheilung einer Untersuchung über die tonische Hemmungswirkung der Medulla oblongata auf den Darm, welche mit den Ergebnissen unserer Hinterwurzel-Arbeit im engsten Zusammenhange steht (vide § 3).

§ 1. Versuchsmaterial.

Wir haben an grossen Exemplaren von rana esculenta gearbeitet, und zwar wurden im Sommer nur frisch gefangene, im Herbste und Winter künstlich gefütterte Thiere verwendet. Entsprechend deren Grösse waren auch die oberen Rückenmarkswurzeln (3. bis incl. 6.) lang und widerstandsfähig genug, um reine, einwandfreie Reizversuche anzustellen. Ich war dadurch in der Lage, bei Beobachtungen an derselben Wurzel die Elektroden an verschiedenen Punkten und möglichst weit vom Ganglion anzubringen und die Reizung nach jedesmaligen ausreichenden Pausen öfter hinter einander vorzunehmen; darauf legte ich desshalb besonderes

Gewicht, weil die häufige Wiederholung der Reizung an einer und derselben Wurzel das sicherste Mittel gewährt, um zu entscheiden, ob die gefundene Reaction immer wieder in dem gleichen, dem zugehörigen Functionsgebiete eintritt, was auch thatsächlich der Fall war.

Horton-Smith bezeichnet die von ihm benützten Frösche als „englische". Das ist kein sehr charakteristischer Ausdruck. Erst im Verlaufe der Abhandlung stellt es sich heraus, dass es Temporarien waren. Uebrigens haben mir Collegen, welche sich in Cambridge aufhielten und die dortigen Laboratoriumsverhältnisse kennen lernten, bestätigt, dass sich nur Temporarien vorfinden, und dass dieselben keinesfalls grösser sind als die bei uns gebräuchlichen. Nun sind bekanntlich die oberen Wurzeln auch der grössten Temporarien so kurz und hinfällig, dass ich correcte und gar öftere Reizversuche an derselben Wurzel nahezu für ausgeschlossen erachte. Horton-Smith gesteht auch zu, dass er aus dem Grunde nur wenige Versuche an den oberen Wurzelpaaren ausführte. Auf seine briefliche Bitte habe ich ihm einige Exemplare grösserer Esculenten gesammelt und zugeschickt; ich weiss nicht, ob sie in gutem Zustande angekommen; aber dies vorausgesetzt, scheinen dieselben keinesfalls entsprechend ausgenützt worden zu sein.

Horton-Smith hat nicht am gleichartigen Material experimentirt; und trotzdem er selbst die wirklich absolute Unzulänglichkeit seiner Objecte zur Untersuchung der oberen hinteren Wurzelpaare anerkennt, nimmt er dennoch keinen Anstand, die motorische Wirksamkeit derselben auf die von uns gefundenen Functionsgebiete, d. i. auf den Oesophagus, Magen und Dünndarm einfach zu bestreiten.

§ 2. Beobachtungsverfahren.

Wir sind bei der Herrichtung der Versuche so vorgegangen, dass wir nach Freilegung des Rückenmarkes und Präparation der Wurzeln an der linken Seite des auf dem Bauche liegenden Thieres einen grossen Lappen aus der Bauch- und Oberschenkelhaut bildeten und darauf die durchschnittene Leibesmuskulatur ausbreiteten. Nach Entfernung der linken Lunge und Loslösung des Eierstockes und Eileiters — die meisten grossen Exemplare sind Weibchen — lagen

nun schon Oesophagus, Magen und Rectum vollständig zu Tage. Nur wo es sich um die genaue Uebersicht des Mitteldarmes handelte, war es nöthig, denselben mittels des befeuchteten Scalpellstieles oder Pinsels vorsichtig aus der Leibeshöhle auf die geschaffene natürliche Unterlage herauszuleiten. An diesem freien, stets feucht gehaltenen Objecte war der scharfe Ueberblick über alle Vorgänge, sowohl über die grösseren peristaltischen Formänderungen, wie über die weniger auffallenden örtlichen Einschnürungen, unbedingt gesichert.

Horton-Smith kritisirt diese Methode, weil er annimmt, dass in dieser übersichtlichen Freilegung der Eingeweide die Ursache für die im Verlaufe des Versuchs bald früher, bald später eintretenden spontanen Contractionen zu suchen sei. Wie irrthümlich diese Auffassung ist, werde ich im nächsten Capitel darthun. Horton-Smith hat folgendermaassen gearbeitet: Er präparirt die Wurzeln, lagert dann den Frosch statt auf das Abdomen auf die eine Seite, macht auf der anderen einen Schnitt durch die Seitentheile der Bauchmuskulatur und beobachtet nun durch diesen Schlitz die Eingeweide, wie sie eben liegen. Einen solchen Vorgang wagt er als ein einwandfreies Verfahren zu empfehlen; aber ich glaube kaum, dass er dies gegenüber Jemandem, welcher auch nur eine flüchtige Vorstellung von der topographischen Anatomie des Frosches besitzt, wird aufrecht erhalten können. Denn bei seiner Versuchsanordnung bleibt es vorweg unmöglich, die gesammten Eingeweide, oder auch nur die verschiedenen Abschnitte des Tractus in ihrer vollständigen Ausdehnung zu überblicken. Günstigen Falles — bei Männchen — werden unter solcher Beobachtungsart Stücke der gewundenen Organe bzw. einzelne Darmschlingen sichtbar; ungünstigen Falles — bei Weibchen — sind grosse Gebiete der Eingeweide durch Eileiter und Eierstock überhaupt gänzlich verdeckt; unter allen Umständen bleibt der ganze Oesophagus, die Cardia und Theile des Magens verborgen; selbst bei dem, wie es scheint, einzig bevorzugten Objecte Horton-Smith's — der Blase, kann hierbei nur die eine Hälfte der Herzform zur Wahrnehmung gelangen. Aus diesen Hinweisen geht hervor, dass Horton-Smith die fundamentalste Maassregel vernachlässigt hat, nämlich die freie, klare Uebersicht über das zu untersuchende Gebiet, ohne welche ein Urtheil über die Innervation desselben mindestens sehr lückenhaft, wenn nicht ganz werthlos ist.

Bis jetzt habe ich nur die gröberen Mängel der erörterten Arbeit,

die Unzulänglichkeit des Materials und der Beobachtungsmethode, ein wenig beleuchtet. Horton-Smith hat aber auch den feineren Versuchsbedingungen keine Beachtung geschenkt. Als besonders wesentlich haben wir die Abtrennung bezw. die Entfernung der Medulla oblongata bezeichnet. Ich muss auf diese Versuchsbedingung hier etwas näher eingehen, weil sie nicht bloss in technischer Beziehung belangreich, sondern im allgemeinen für die Kenntniss der Magen- und Darmbewegung beim Frosche von Bedeutung ist; ich knüpfe hieran den Bericht über meine neueren Versuche betreffend die Hemmungswirkung des Kopfmarkes.

§ 3. Ueber die tonische Hemmungswirkung der Medulla oblongata auf den Darm.

Wir haben die Medulla oblongata ausgelöffelt fast in allen Fällen, wo es sich um das Studium der spinalen Innervation des Magens und des Dünndarmes handelte, weil es uns schon im Beginne der Versuchsreihen auffiel, dass durch jenen Eingriff die Disposition der Organe zur Erregung in ganz erheblichem Grade sich steigert. Reize, welche bei unversehrtem Kopfmarke entweder keine oder eine nur unbedeutende und rasch vorübergehende locale Contraction hervorrufen, wie z. B. sachtes Berühren mit dem Glasstabe oder Bestreichen mit dem feuchten Pinsel, erzeugen nach Zerstörung desselben tiefe Einschnürungen oder ausgebreitete Peristaltik, welche viele Secunden währt und sich zwei- bis dreimal hinter einander an derselben Stelle wiederholen kann. Mit der Verstärkung des Reizes — sei es eines directen oder indirecten — wird der Unterschied der Reactionen noch merkbarer. Was aber den durch den Verlust der Oblongata bedingten Zustand der Präparate besonders charakterisirt, ist die Thatsache, dass die Erregbarkeitssteigerung andauert, und dass auch ohne nachweisbare Einflüsse ab und zu, in meist grösseren zeitlichen Abständen spontane Contractionen auftreten, für deren Entstehung keine andere Ursache als die Ausschaltung der Medulla oblongata geltend zu machen ist. Dies beweist recht eindringlich der folgende mehrmals ausgeführte Vergleichsversuch:

Ich wähle zwei gleich grosse, gleich ernährte Esculenten und eröffne breit die Schädeldecken, bis das ganze Gehirn und das Kopfmark gut zugänglich ist. Bei Benützung des Thermokauters kann

dies ohne wesentlichen Blutverlust geschehen. Dann präparire ich in der angegebenen Weise (cit. ob. pag. 598) die grossen Haut- bzw. Muskellappen und lege vorsichtig die Eingeweide frei; alle diese Manipulationen werden möglichst rasch und bei beiden Thieren ganz gleichmässig vorgenommen. Schliesslich entferne ich mit dem scharfen Löffel die Gehirne, bei dem einen Frosche mit, beim anderen ohne die Medulla oblongata und setze die auf Brettchen aufgespannten Präparate in eine grosse feuchte Kammer, durch deren Glassturz sich nun der Zustand der frei liegenden Eingeweidecomplexe genau beobachten lässt.

Beim Präparate mit erhaltener Medulla oblongata[1]) verharrt der Darm stundenlang in Ruhe. Der Oesophagus bleibt, trotzdem er bei den Athembewegungen vielfach mitbewegt wird, schlaff, ausgedehnt, ganz allmälig in den Cardiatheil des Magens übergehend. Dieser und die übrigen Darmgebiete bewahren ihre rundlichen, für den Ruhezustand typischen Formen. Es gehört zu den Seltenheiten, wenn im Verlaufe einiger Stunden da oder dort eine seichte, rasch vergehende locale Einschnürung oder minimale Bewegung entsteht, und auch in diesen spärlichen Fällen bezieht sich die Contraction mehr auf die tieferen, von der Medulla oblongata unabhängigen Eingeweide. Ich verzeichnete aber auch Versuche, bei welchen während einer 6stündigen Beobachtungszeit nicht die Spur einer Peristaltik zu sehen war.

Anders entwickelt sich das Bild beim Präparate ohne Medulla oblongata. Während oder nach der Entfernung derselben schnürt sich der Oesophagus zusammen und setzt sich scharf von der Cardia ab, durch welche sich eine Contractionswelle mitunter über den Magen fortpflanzt; gleich hinterher wiederholt sich manchmal dieser Vorgang. Hierauf erschlaffen die Organe wieder, und es tritt Ruhe ein; nur der Oesophagus verharrt meist permanent in einem Zustande mittlerer Contraction. Nach dieser regelmässig erfolgenden Pause, welche fast immer von längerer Dauer ist, beginnt jener, durch spontane Peristaltik ausgezeichnete Erregungszustand im oberen Darmtract. In dem einen oder anderen Gebiete werden ringförmige Contractionen sichtbar, welche sich entweder örtlich beschränken oder zu einer peristaltischen Bewegung Anlass

1) Zur Schonung der Medulla oblongata liess ich gewöhnlich die Kleinhirnleiste stehen.

geben. Eine Gleichförmigkeit im Verlaufe und in der Wiederkehr dieser Erscheinungen ist nicht festzustellen. Das Eigenthümliche liegt eben darin, dass jene absolute, anhaltende Ruhe im Darmtractus, wie wir sie in dem Vergleichspräparate beobachten, hier zu den Ausnahmen zählt. Hingegen muss nachdrücklichst hervorgehoben werden, dass bei den Esculenten die Pausen zwischen den Erregungsperioden eines gewissen Gebietes sehr ausgiebig sind und viertel—halbe Stunden oder noch länger andauern — ein Umstand, welcher für den vorliegenden Zweck von grösster technischer Bedeutung ist.

An Temporarien habe ich solche Versuche in letzter Zeit wiederholt und die gleichen Ergebnisse erhalten; nur fand ich, dass die bei den Präparaten ohne Kopfmark sich einstellenden spontanen Contractionen viel ausgeprägter, die Pausen zwischen den Erregungsperioden wesentlich kürzer sind als bei den Esculenten, woraus sich ein neuer Beleg für die Unbrauchbarkeit der Temporia als Versuchsobject ergibt.

Zeitweiliges Abheben der Glasglocke bezw. Zutritt der gewöhnlichen Luft ändert nichts an dem beschriebenen Bilde; man hat nur die Eingeweide, wie es bei unseren Versuchen immer geschah, durch sachtes Aufsetzen und Ueberfliessenlassen von Tropfen physiologischer Kochsalzlösung vor Vertrocknung zu schützen.

Anstatt die Medulla oblongata zu entfernen, kann man auch beide Vagi durchschneiden; die Folgeerscheinungen sind dieselben.

Diese vergleichenden Experimente widerlegen schlagend die Annahme Horton-Smith's, dass die während der Versuche auftretende „autoperistaltische" Bewegung auf der durch meine Methode bedingten übersichtlichen Freilegung der Eingeweide beruhen soll.

Die Ursache der spontanen Contractionen liegt nach meinen neueren Ergebnissen in dem Ausfalle der hemmenden Einflüsse, welche von der Medulla oblongata ausgehen und durch die Nervi vagi den gangliösen Apparaten der Gedärme vermittelt werden. Wir haben darauf hingewiesen (cit. ob. pag. 602), dass Goltz[1]) zuerst in einer eingehenden Studie auf die eigenthümlichen Erschei-

1) Studien über die Bewegung der Speiseröhre und des Magens des Frosches. Dieses Archiv Bd. 6. 1872.

nungen nach Eliminirung des Kopfmarks aufmerksam gemacht hat. Schon meine früheren diesbezüglichen Beobachtungen und obigen Vergleichsversuche an Esculenten und Temporarien bilden eine Ergänzung der Goltz'schen Erfahrungen, sofern sie zeigen, dass sich der Einfluss des Kopfmarks über den Pylorus hinaus auf den obersten Dünndarm erstreckt, dass er aber, vom Oesophagus angefangen, nach unten zu allmälig abnimmt. Am ausgeprägtesten erscheint die Hemmungswirkung im Oesophagus, welcher nach Entfernung der oblongata in einer dauernden mittleren Contraction[1]) verharrt, welche zwar während des Ablaufes peristaltischer Wellen eine Steigerung erfahren kann, aber niemals, auch nicht während der langen Ruhepausen der spontanen Bewegung, in den ursprünglichen Zustand vollständiger Erschlaffung übergeht. Weiterhin stellen meine Untersuchungen den wesentlichen Unterschied fest zwischen der eben erörterten, durch Ausschaltung eines centralen Vorganges bedingten Art von Erregbarkeitssteigerung, welche grosse Gebiete des Darmtractus ergreift und ein andauernder Zustand ist — und der von peripheren Ganglien ausgehenden Erregbarkeitssteigerung im engeren Sinne, welche nach jedweder directen oder indirecten Reizung des Darmes entsteht, auf den gereizten Bezirk localisirt bleibt und nur kürzere Zeit anhält.

Goltz hat die nach Verlust des Kopfmarks auftretenden Erscheinungen als Erregbarkeitssteigerung aufgefasst und beschrieben, ohne hierfür eine eigentliche Erklärung zu geben. Von Hemmung wollte er durchaus nicht sprechen, weil er sich nicht zur Annahme entschliessen konnte, dass im Vagus sowohl Bewegungs- als auch Hemmungsfasern verlaufen. Das war im Jahre 1872. Heute aber liegt in dem Vorkommen antagonistisch wirkender Fasern in einem und demselben Nervenstamme nichts Befremdendes mehr. Ich

1) Kronecker und Meltzer haben beim Kaninchen nach Durchschneidung der Vagi „oft“ den cardialen Theil des Oesophagus sich verengern sehen. Die hauptsächlichste Hemmungswirkung auf den Oesophagus scheint aber nach den ausführlichen Untersuchungen dieser Autoren über den Schluckact der Glossopharyngeus zu vermitteln; wenn derselbe durchschnitten ist, „so geräth der Oesophagus in tonischen Krampf, welcher mehr als einen Tag lang andauern kann.“ Vgl. Du Bois' Archiv für Anatomie und Physiologie 1881 S. 465 und Suppl. 1883 S. 384. Schiff hat an Hunden, Chauveau in seltenen Fällen an Pferden nach Durchschneidung der Vagi Verengerung der Speiseröhre beobachtet, erklärt dies aber nicht als Hemmungserscheinung.

erinnere nur an den directen experimentellen Nachweis pulsverlangsamender und pulsbeschleunigender Fasern des Vagus (Heidenhain, Löwit), an die gefässverengernden und gefässerweiternden Elemente der Nervenstämme und schliesslich noch an die Experimente von Bechterew und Mislavski[1]), welche sich auf unsere Frage beziehen und die Auslegung zulassen, dass im Vagus des Hundes erregende und hemmende Fasern für den Dünndarm enthalten sind.

Um bei unserem Objecte durch Reizversuche zu entscheiden, ob hemmende Fasern im Vagus oder Hemmungscentren im Kopfmark vorhanden seien, schien es am zweckmässigsten, den Darm in heftige Erregung zu versetzen und nun zu untersuchen, ob sich die zur völligen Wiedererschlaffung erforderliche Zeit unter dem Einflusse gewisser Reize verkürzen lasse. Nach verschiedenen Verfahren bin ich schliesslich so vorgegangen, dass ich den betreffenden Darmabschnitt — meistens den Magen — durch Bepinselung mit sehr verdünnten Lösungen von Kalisalzen (Salpeter, Chlorkalium) zu starker, ziemlich lange anhaltender Contraction brachte und nun der Medulla oblongata durch oberflächlich aufruhende Platinspitzenelektroden Inductionsströme von geringer Frequenz zuführte, deren Intensität unterhalb der zuvor an der gleichen Stelle[2]) ermittelten Schwelle für die Erregung gelegen war. Der Versuch wurde bei demselben Thiere (Esculenta) mehrfach wiederholt — bald bei centraler Einwirkung, bald ohne dieselbe — und die entsprechend gefundene Grösse der Dilatationszeit notirt. Die Ergebnisse waren nicht ganz übereinstimmend; nur in gewissen gleich zu erörternden Fällen zeigte sich eine regelmässig erfolgende Verkürzung der Dilatationszeit bei Reizung der Oblongata. Dieser Mangel an Einklang wird auch leicht verständlich, wenn man bedenkt, dass man zur Demonstration eines Hemmungseinflusses vorerst gezwungen ist, im Darme eine starke Zusammenziehung oder Peristaltik hervorzurufen und dadurch zu einer neuen Complication, nämlich zu der, wie erwähnt, bedeutenden peripheren Erregbarkeitssteigerung Anlass zu geben, welche eben zu derselben Zeit herrscht, innerhalb welcher die Hemmungsimpulse wirken sollen. Der Erfolg der Medullareizung ist also wesentlich vom jeweiligen Grade und von der Dauer jener

---

1) Du Bois' Archiv für Anatomie und Physiologie (physiol. Abtheilung). Suppl. 1889.

2) Unteres Ende der fossa rhomboidalis.

künstlich erzeugten Erregbarkeitssteigerung im beobachteten Darmtheile abhängig. Desshalb sind die wenigen positiven Resultate um so lehrreicher; sie betrafen jene Präparate, bei welchen die Schwelle für die Darmerregung im Kopfmarke aus mir unbekannten Gründen eine ungewöhnlich hohe war (RA. circa 6 cm vergl. S. 544). Hier konnte ich erheblich grössere Stromstärken anwenden, ohne die Erregung im chemisch gereizten Darme zu vermehren, und es zeigte sich auch bei centraler Reizung regelmässig und wiederholt eine auffallende Beschleunigung der Dilatation. Trotzdem möchte ich diesen Resultaten allein keinen bindenden Wert beimessen, wenn nicht durch die typischen Ausfallserscheinungen ein unzweifelhafter Hinweis auf die tonische Hemmungswirkung der Medulla oblongata bezw. der Vagi gegeben wäre:

Nach Entfernung des Kopfmarks oder nach Durchtrennung der Vagi schnürt sich der Oesophagus zusammen und bleibt in einer dauernden, wenn auch im Grade wechselnden Contraction. Am Magen und obersten Dünndarm entwickelt sich unter dem Ausfalle der Hemmungsimpulse jener Zustand, welcher sich als hohe Steigerung der Erregbarkeit zu erkennen gibt, indem schon die gelindesten Anstösse starke locale oder ausgebreitete Bewegung erwirken und zeitweise auch ohne merkliche Ursache — „spontane“ Peristaltik auftritt. Die Hemmungserscheinung am Oesophagus ist wohl so eindringlich als die zum Beispiele gewordene Vermehrung der Pulsfrequenz nach der Vagotomie.

Es ist mir nun gelungen, in der temporären Ausschaltung der Medulla oblongata durch locale Aetherisirung eine Methode zu finden, welche es ermöglicht, die Hemmungswirkung zeitweilig aufzuheben und wiederzubeleben. Ich habe auch diese Versuche an grossen Esculenten vorgenommen. Es wird das Gehirn und Kopfmark blossgelegt, die Leibeshöhle in beschriebener Weise linkerseits eröffnet, und insbesondere der Blick auf den Magen und die Speiseröhre bis zu deren Uebergange in den Schlund durch die Präparation freigemacht[1]); dann entfernt man das Vorder- und Mittelhirn[2]), was an der Ruhe und Schlaffheit der

1) Während der Beobachtung wird die Leibeshöhlung durch einen vorgesetzten kleinen Spiegel beleuchtet.

2) Zur vollständigen Schonung der Grenze der Medulla oblongata lasse ich die Kleinhirnleiste stehen.

Organe, wie schon bemerkt, nichts ändert, und beginnt mit der Aetherisirung. Ich benütze hierzu eine gröfsere, etwa zu einem Drittel mit Aether gefüllte Flasche, in welcher demgemäss ein bedeutendes Quantum Aetherdampf stets angesammelt ist. Dieselbe ist einerseits mit einem Gummigebläse, welches Luft durch den Aether treibt, verbunden, andererseits mit einem fein ausgezogenen Glasrohre, durch welches die ätherhaltige Luft ausströmt. Dieses Röhrchen orientire ich mit der Spitze so, dass die Capillaröffnung dicht über die Fossa rhomboidalis zu stehen kommt und die Dämpfe über die ganze sichtbare Dorsalfläche der Medulla oblongata hinstreichen und nasenwärts ausweichen.

Zunächst beobachtet man etwa in einer Minute, dass die *Athembewegungen* schwächer werden und allmälig ganz aufhören. Unterdessen bleibt im Darme alles ruhig. Erst später nach Ablauf von 3 bis 5 Minuten sieht man am *Oesophagus eine Einschnürung auftreten, welche sich bei fortgesetzter Aetherisirung verbreitert,* zu scharfer Absetzung des Oesophagus an der Cardia führt und auf den Magen übergreift. Es ist aber dringend geboten, die Aetherisirung nicht bis zur dauernden Schädigung des Kopfmarks zu übertreiben und sich mit der ersten merkbaren Contraction am Oesophagus zu begnügen, welche sich dann gewöhnlich zu den charakteristischen Formen weiter entwickelt.

Nun lässt man den von der Kopfmarkoberfläche aufgenommenen Aether abdunsten, unterstützt auch die Wiederbelebung durch feine Berieselung mit physiologischer Kochsalzlösung und setzt schliesslich das Thier zur ferneren Beobachtung unter eine geräumige, feuchte Glaskammer. Nach einer Viertel-, höchstens einer halben Stunde haben sich Magen und Oesophagus wieder geglättet und ihre ursprüngliche Weite gewonnen und verharren wieder unter dem *neu erwachten hemmenden Einflusse* der Oblongata in Ruhe.

Man kann das Experiment *mit dem gleichen Erfolge ein zweites Mal anstellen,* beim dritten Male ist der Ausgang schon unsicher; es wirken öftere Wiederholungen wie übermässige Aethervergiftung, die Hemmungsfunction restituirt sich nicht mehr und wir erhalten das Bild, wie bei dauernder Alteration oder Zerstörung des Kopfmarkes.

Ich habe eine Reihe von *Controlversuchen* ausgeführt, um festzustellen, dass die durch die Aetherisirung erzeugten Con-

tractionen am Vorderdarm thatsächlich durch — centrale Lähmung, durch Ausschaltung der Hemmungsimpulse bedingt sind und nicht etwa von centraler Erregung herrühren. Zunächst muss ich bemerken, dass sich bei den Thieren keine allgemeinen Erregungserscheinungen offenbarten. Nur bei einzelnen Exemplaren habe ich in den ersten Augenblicken der Aethereinwirkung Wendungen des Kopfes wahrgenommen, welche wahrscheinlich durch den gegen die Schnauze abströmenden Dampf reflectorisch ausgelöst wurden, aber schon nach einigen Secunden aufhörten. Die Contractionen am Oesophagus traten, wie immer, erst nach Verlauf einiger Minuten auf.

Um die Verhältnisse näher zu untersuchen, habe ich begrenzte Partien des Rückenmarkes ätherisirt. Ich lege z. B. ein kleines Marksegment ober der Eintrittsstelle der Ischiadicuswurzeln frei; dann entfessele ich eine hintere Extremität des aufgebundenen Thieres; dieselbe wird kräftig angezogen und nimmt nach Versuchen, sie auszustrecken, sofort wieder die typische sprungbereite Haltung an. Nun lasse ich den Aetherdampf dicht oberhalb der Einmündung der 7. Hinterwurzel auf das Mark ausströmen; man sieht keinerlei Reactionen oder tetanische Bewegungen, aber in kurzer Zeit ermattet die angezogene Extremität, sie lässt sich leicht ausziehen, macht noch eine kleine Weile vergebliche Anstrengungen, in die Sprungstellung zurückzukommen und ist schliesslich ganz gelähmt. Starke mechanische Reize, an der Extremität selbst oder am übrigen Körper angebracht, sind nun ausser Stande, eine Bewegung derselben zu veranlassen. Bindet man den Frosch los, so hat man ein bewegliches, athmendes Vorderthier mit einem total gelähmten Hinterthier vor sich. Nach einiger Zeit erholt sich das Rückenmark wieder, das Thier zieht die Beine an und hüpft später von selbst davon. Diese Versuche lehren, dass beim angewendeten Verfahren der Aether die Rückenmarkssubstanz local und vorübergehend lähmt, ohne zuvor ein Excitationsstadium erzeugt zu haben.

Einen tief greifenden Unterschied zeigt der Verlauf der Erscheinungen, wenn man sich zur Vergiftung anstatt des narkotischen eines stark erregenden chemischen Mittels bedient. Als ausserordentlich wirksam habe ich Ammoniakdämpfe gefunden. Lässt man solche über die Oberfläche des Kopfmarkes streichen, so entwickelt sich nach wenigen Secunden ein allgemeiner lang an-

haltender Tetanus der Skelettmuskulatur, und nach rascher Eröffnung der Leibeshöhle fällt sofort auf, dass der Oesophagus strickartig zusammengezogen und oft Peristaltik über den Magen und Pylorus hinaus im Gange ist. Eine Erschlaffung dieser Organe herbeizuführen wie nach der Aetherwirkung, ist nicht möglich. Der heftigen Erregung der centralen Substanz folgt in dem Falle unmittelbar die Abtödtung.

Nachdem ich mich auf diese Weise überzeugte, wie ganz anders sich die Vorgänge abspielen, wenn es sich um ein erregendes Mittel handelt, habe ich noch folgenden Versuch angestellt. Ich bestimmte an curarisirten Präparaten die Stromstärke, welche nöthig ist, um bei Inductionsreizung von der Oblongata aus eine kräftige Contraction des Oesophagus und Magens zu erzeugen; wartete dann ab, bis sich die Organe wieder beruhigt hatten, und nahm nun die Narkotisirung des Kopfmarkes vor, wobei ich zwischendurch die Erregbarkeit für den Inductionsstrom prüfte. Es ergab sich, dass die Unerregbarkeit für den ermittelten Reizwert und auch für stärkere Ströme bei weitem früher eintritt als die sich in Folge des Hemmungsausfalles bildende Einschnürung des Oesophagus.

Wenn Aetherdampf unmittelbar auf contrahirte Darmstücke strömt, so erschlaffen dieselben sofort, wesshalb es von vornherein ausgeschlossen ist, dass etwa vom kreisenden Blute aufgenommene geringe Mengen contractorisch wirken könnten.

Die hier beschriebenen Experimente und Controlversuche scheinen somit die Annahme zu rechtfertigen, dass die Medulla oblongata des Frosches neben erregenden auch hemmende Organe für den Oesophagus, den Magen und den obersten Dünndarm enthält, dass die Hemmungsimpulse durch die Vagi den Darmganglien vermittelt werden, und dass die auf die letzteren ausgeübte Hemmungswirkung tonischer Natur ist.

Wer die grosse Erregbarkeit des Darmes nach Ausschaltung des Kopfmarkes oder der Vagi beobachtet hat, wird sich über die hohe Zweckmässigkeit eines besonderen Hemmungsorgans nicht erst befragen müssen, wenn er nur an die Art der Locomotion bei unseren Versuchsthieren denkt. Bei jedem Sprunge werden die Eingeweide durch das Aufschlagen des Körpers auf den Boden stark erschüttert; dies würde eine unerschöpfliche Quelle von Erregungen sein; die

erhaschte Beute könnte die Speiseröhre nicht passiren, und der Darmtract wäre zu einer fortwährenden krampfhaften Peristaltik verdammt.

§ 4. Ueber zeitweise Ausschaltung centraler Functionen durch locale Aetherisirung.

An dieser Stelle möchte ich einige Beobachtungen mittheilen, welche darthun, dass die Methode der localen Narkose durch Aetherdampf zu Demonstrationsversuchen im Gebiete des Centralnervensystems sehr geeignet ist und eine Ergänzung zum Exstirpationsverfahren darstellt. Der Vortheil liegt in dem Umstande, dass man die Ausfallserscheinungen wieder aufheben und den Verlust gewisser Functionen bei Ausschaltung der betreffenden Centren bei demselben Thiere wiederholt vorzeigen kann. Die graue Substanz scheint besonders befähigt zu sein, in kurzer Zeit viel Aether aufzunehmen, während dessen nur minimale Mengen in den Kreislauf übergehen, so dass keine allgemeine Narkose entsteht. Den Vorgang beim Aetherisiren habe ich oben geschildert; es erübrigt noch, einige Versuchsregeln anzugeben:

1) Sorgsame Blutstillung[1]) mittels Thermokauters, nicht allein damit das Thier kein oder wenig Blut verliert, sondern auch damit das zu narkotisirende Feld nicht von Flüssigkeit überdeckt wird. Die auf den Centralorganen lagernden Gefässhäute (Tela chorioidea) sind zu entfernen; wenn Blut später nachsickern sollte, muss dasselbe durch feine Schwämmchen während des Aetherisirens aufgetupft werden.

2) Möglichste Beschränkung beim Freilegen des zur Ausschaltung bestimmten Organs. Die natürlichen Hüllen gewähren den besten Schutz gegen das Uebergreifen des Aethers. Wenn es sich daher um einen einzelnen Hirntheil handelt (z. B. einen Lobus

---

1) Ich habe hierzu eine praktische Kauterisirungs-Vorrichtung zusammengestellt: Die Benzinflasche ist mit Schrot beschwert und bleibt am Tische stehen; von ihren drei Ausmündungsröhrchen ist das eine mit dem Gummigebläse, die zwei anderen durch weiche Schläuche mit je einem stumpfen und spitzen Platinbrenner verbunden; diese Brenner ruhen auf einem Gestelle über einer breiten Bunsen-Flamme. Ich fasse mit der Rechten die Gummibirne und den Griff des eben passenden Platinbrenners und kann so auch ohne Assistenz die Blutstillung besorgen.

opticus), empfiehlt es sich, denselben nur soweit freizulegen, dass seine Grenzen eben noch verdeckt sind; einige Präparationen genügen, um sich die hierzu nöthige topographische Orientirung zu verschaffen.

3) Die Aetherisirung ist nicht länger zu betreiben als bis zum Momente, wo die erwarteten Symptome bezw. Ausfallserscheinungen eintreten. Für gewisse Fälle scheint es aus dem Grunde nützlich, das Thier nach der Blosslegung des Centralorgans loszubinden und einfach mit der Hand festhalten zu lassen, um zwischendurch den Erfolg der Aethereinwirkung controliren zu können.

4) Für Versuche über Gehirnfunctionen muss man lebhafte, frische Individuen auswählen. Gerade unter den wegen der Grösse so brauchbaren Esculenten finden sich oft Exemplare, welche schon im unversehrten Zustande mit einem erstaunlichen Mangel von Spontaneïtät behaftet sind. Es ist zweckmässig, unmittelbar nach der Aetherisirung das Thier einen Augenblick ins Wasser zu tauchen und erst dann zu prüfen.

Rückenmark. Im vorigen Capitel habe ich die Herstellung eines gelähmten Hinterthieres durch Aetherisirung des über der Eintrittsstelle der Ischiadicus-Wurzeln befindlichen Rückenmarksegmentes beschrieben. Wenn man das dicht über den Brachial-Wurzeln (II.) liegende Segment narkotisirt, erhält man ein Thier, dessen Vorderkörper gelähmt ist, dessen Hinterkörper jedoch in normaler sprungbereiter Verfassung bleibt und sich vergeblich abmüht, den unbeweglichen Vorderleib vorzuschieben. Es macht den Eindruck, als ob das Hinterthier mit dem Gehirn noch in Zusammenhang stünde; dies ist auch möglich, indem durch die schwache Localnarkose die Ganglien schon gelähmt sind, während die weissen Stränge für die centralen Impulse noch durchgängig bleiben. Nach der Erholung fallen die ersten Sprünge etwas unbeholfen aus, nehmen aber später den gewöhnlichen Typus an.

Athmungscentrum. Die Ausschaltung der Athmung geschieht in der Weise, dass man den Aetherdampf direct in die Fossa rhomboidalis (IV. Ventrikel) ausströmen lässt, wobei die Eminentiae acusticae ein bischen aus einander weichen. Zuerst kommt die Bauchathmung, dann die Bewegung der Nasenlöcher und des Mundbodens zur Ruhe. Das Zeichen der vollständigen Lähmung des Athmungscentrums ist die convexe Ausbauchung des sonst concav eingezogenen Mundbodens. Die Wiederbelebung tritt im Verlaufe

von 10—15 Minuten ein, und zwar in umgekehrter Folge. Der Versuch kann oft hinter einander wiederholt werden, das Centrum ist besonders erholungsfähig.

Sehr instructiv sind die Ergebnisse der Aetherisirung der einzelnen Hirnabschnitte. Die Thiere sind völlig vergleichbar mit solchen, denen die betreffenden centralen Organe einige Zeit früher entfernt wurden, d. h. nach vorsichtiger Aetherisirung fehlen die mit der Exstirpation einhergehenden schweren Hemmungserscheinungen, und man kann daher die charakteristischen Symptome sofort demonstriren. Wenn man mit der Freilegung und Aetherisirung der Reihe nach fortschreitet, lassen sich die Leistungen der auf einander folgenden Hirnabschnitte bezw. die grossen Unterschiede im Functionsausfall in anschaulicher Weise zur Darstellung bringen.

Vorderhirn. Aetherisirung der durch Präparation scharf begrenzten Grosshirnhemisphären ändert nichts an dem Benehmen des Frosches. Der Grad der Spontaneïtät, die Formvollendung der Bewegungen bleiben absolut unbeeinflusst. Das Bild stimmt ganz mit dem des grosshirnlosen Frosches, wie es zuerst treffend von Goltz und Schrader[1]) geschildert wurde.

Zwischenhirn. Hier ergibt sich ein wesentlicher Unterschied zwischen Exstirpation und Aetherisirung. Die Zerstörung der Fasern der Tractus optici, deren Hauptmenge die seitliche Wand der Thalami[2]) überziehend den Lobi optici zustrebt, ist bei der Exstirpation unvermeidlich. Das Thier wird blind und daraus erklärt sich zum Theile die zu beobachtende Vernichtung bezw. starke Verminderung der Spontaneïtät. Hingegen kann man die rhombische Decke des Zwischenhirns — den Epithalamus ätherisiren, ohne die grosse Masse der Tractus-Fasern zu treffen. Ein so behandeltes Thier zeigt keine auffallende Einbusse der Spontaneïtät; es orientirt sich gut im Raume, nimmt sicher in den Weg gestellte Hindernisse, kommt glatt durch einen aufgebauten Engpass; schwimmt an den Rand des Wasserbehälters, ersteigt denselben und springt geschickt herunter. Wir stossen da auf einen Fall, wo die Ausschaltung eines Centralorgans durch locale Narkose eindeutigere Resultate liefert als die Exstirpation.

1) Dieses Archiv Bd. 41. 1887.

2) Vgl. Gaupp-Ecker, Anatomie des Frosches. 2. Aufl. (Lehre vom Nervensystem S. 69.)

Mittelhirn. Während längere Aetherisirung der vorderen Abschnitte keinen wesentlichen Ausfall erzeugt, genügen bei den Lobi optici 2—3 Minuten, um das Verhalten des Thieres vollständig zu verändern. Dasselbe scheint seiner Spontaneität beraubt, es regt sich meist nicht, aber sitzt in normaler Stellung. Es lässt sich viel leichter zu Locomotionen antreiben als ein Vergleichsthier mit eben exstirpirtem Mittelhirn. Schwächere Reize führen zu krötenartiger Kriechbewegung, welche oft mit einem Sprunge endigt. Stärkere Reize lösen sofort einen oder mehrere coordinirte Sprünge aus. Das Thier ist total blind, rennt auf das gröbste Hinderniss. Es kann noch den Rand des Wasserbehälters erklimmen, bleibt aber entweder in unbeholfener Lage hängen oder fällt plump über den Rand hinunter. Die Erholung dauert nach Schliessung der Wunde etwa 1 Stunde, nach stärkerer Narkotisirung noch länger[1]).

Wenn man einen Lobus opticus allein ätherisirt, ist die Spontaneität des Thieres etwas abgeschwächt, aber dasselbe macht noch selbstständige Kriech- und Hüpfbewegungen. Ausserdem ergeben sich charakteristische Zeichen des geschädigten Gleichgewichtscentrums. Der Kopf geräth in Zwangsstellung. Beim Hüpfen kollert das Thier manchmal auf die Seite oder schlägt ungeschickt auf, nimmt aber sofort wieder die sprungtüchtige Haltung ein. Beim Sprung fällt die ungewöhnliche Höhe auf, besonders wenn derselbe auf Reizung erfolgt. Die Zwangsstellung des Kopfes schwindet vor oder mit der Restituirung der übrigen Erscheinungen.

Nachhirn. Bei der Narkose der bisher genannten Hirnabschnitte bleibt die Athmung ungestört; sie setzt, wie oben erwähnt, erst mit der Aetherisirung des vierten Ventrikels (hintere Spitze) aus. Wenn sich die Einwirkung auf das Kopfmark beschränkt und nicht auf den Ursprung der Brachialwurzeln übergreift, geht die Coordination der Bewegung nicht verloren, in welchem Punkte ich gleichfalls mit Schrader übereinstimme.

Auch für gewisse Reflexversuche ist das Aetherverfahren gut anwendbar.

Ueber die Anwendung der Methode beim Warmblüter werde ich gelegentlich berichten.

---

1) Bekanntlich bleibt die Lebhaftigkeit der Thiere schon nach blosser Freilegung der Centralorgane längere Zeit beeinträchtigt.

§ 5. Ueber spontane Peristaltik.

Ich kann jetzt zum Ausgangspunkte des von der Hemmungswirkung handelnden Capitels (§ 3) zurückgreifen. Wir haben seiner Zeit bei der Mehrzahl der Versuche die Medulla oblongata entfernt, um durch die hierdurch geschaffene Erregbarkeitssteigerung günstige Bedingungen für die Hinterwurzel-Reizungen herzustellen. Heute würde ich sagen: Wir haben die Hemmung der Darmbewegung ausgeschaltet. Ich erwähnte auch, dass bei unserer Beobachtungsart die Pausen zwischen den in der Folge eintretenden spontanen Contractionen — ausgenommen am Oesophagus — gross sind, sehr häufig viertel—halbe Stunden lang und noch darüber andauern und daher genügende Zeit lassen, um reine Reizversuche am ruhenden Darme auszuführen. Als Voraussetzung gilt, dass derselbe, wie bei unserem Vorgange, unterstützt ist, auf einer natürlichen Unterlage, auf der ausgebreiteten Bauchwandung liegt, sorgfältig vor Vertrocknung geschützt und überhaupt vor jeder äusseren Reizursache möglichst bewahrt wird. Geschieht dies nicht, so versteht sich von selbst, dass bei der hohen Darmerregbarkeit sich eine lebhaftere, seltener unterbrochene Peristaltik entwickeln muss. Um ein Beispiel zu geben, verweise ich auf das Verfahren, welches Goltz bei der citirten Untersuchung eingeschlagen hat. Nach Zerstörung der Medulla oblongata und breiter Eröffnung der Leibeshöhle hing er die Frösche (gleichfalls Esculenten) auf, um die Veränderungen am Darme zu studiren. Er erhielt energische und anhaltende Contractionen. Durch die Schwere, durch den Zug der Eingeweide an den Mesenterialnerven wurden starke mechanische Reize gesetzt, jede Bewegung des Magens musste diese Summe von Erregungen noch erhöhen und immer zu neuer Peristaltik Anlass geben.

Allerdings verzeichneten auch wir unter den ca. 200 Versuchsthieren eine Anzahl, bei welcher sich eine lebhaftere spontane Peristaltik eingestellt hatte, als es gewöhnlich der Fall war. Solche Experimente wurden eben als nicht verwerthbar ausgeschieden. Wenn Horton-Smith sich des gleichen Materials bedient, vorwiegend an den gleichen Wurzeln gearbeitet und wenigstens einem Theile unserer Versuchsbedingungen Rechnung getragen hätte, so würde ich seiner Klage über die verschiedenen Störungen und Schwierigkeiten einer derartigen Untersuchung gerne beigestimmt haben. Da er

sich aber aller für die Ueberprüfung einer Arbeit vorgeschriebenen und principiellen Aufgaben entzogen hat und trotzdem unsere Ergebnisse glatthin verwirft, so schien es mir angezeigt, gegen ein solches Vorgehen in sachlicher Kritik Verwahrung einzulegen. Was ich aber Herrn Horton-Smith und seinem Lehrer Herrn Professor Langley entschieden verübel, das ist der Umstand, dass durch die Fassung ihrer Schrift bei denjenigen Lesern, welche unsere ausführliche Mittheilung nicht kennen oder nicht mehr in Erinnerung haben, der Eindruck hervorgerufen wird, als ob wir den Erregbarkeitsverhältnissen des Darmtractus nicht die geringste Aufmerksamkeit geschenkt hätten, als ob wir uns von den Zufälligkeiten der spontanen Peristaltik einfach blenden liessen. Horton-Smith verschweigt vollständig, dass ich mich gerade mit diesen Erscheinungen sehr eingehend beschäftigt habe; fast scheint es, dass er unsere Abhandlung oder wenigstens den betreffenden Abschnitt nicht einmal durchgelesen hat. Ich war damals über die Hemmungswirkung der Medulla oblongata auf den Froschdarm noch nicht im Klaren, aber ich habe in einem fünf Seiten langen Capitel (S. 600—605), betitelt: „Erregbarkeit des Präparates“, alle wahrnehmbaren, wesentlichen Befunde ausführlich dargestellt, die vorhandene Literatur berücksichtigt, ich habe schon damals auf zwei Arten von Erregbarkeitssteigerung — die centrale und periphere — hingewiesen, habe die Entfernung der Oblongata als methodisches Hülfsmittel dringend empfohlen, habe ausführlich auseinandergesetzt, wie man sich vor Verwechslung echter Reizwirkungen mit spontanen Contractionen zu schützen habe, habe gewisse Vorkommnisse minimaler und maximaler Erregbarkeit des Darmes beschrieben, habe ein Mittel angegeben, wie man übermässige Erregung bezw. Peristaltik wieder beruhigen kann u. a. m.

Jedenfalls habe ich mich mit den bezüglichen Thatsachen ungleich gründlicher vertraut gemacht als Horton-Smith, welcher dieselben überhaupt nicht kennt. Ich will nur die Schlusssätze jenes Capitels reproduciren:

„Es ist selbstverständlich, dass unser Beobachtungsverfahren diese Verhältnisse (Erregbarkeit etc.) nicht unberücksichtigt liess. Wir haben die ersten Wurzelreizungen als die weitaus beweiskräftigsten aufgefasst und in den Protokollen regelmässig angemerkt, ob das jeweilig untersuchte Darmgebiet bis zur Reizung in Ruhe war. Sobald die vorerwähnte spontane Be-

wegung in diesem Gebiete einsetzte, wurde zur Prüfung der Wurzeln anderer Darmabschnitte übergegangen. Indessen war in der erstuntersuchten Partie wieder Ruhe eingetreten, und es konnte die Reizung der entsprechenden Wurzeln derselben oder der anderen Seite von Neuem aufgenommen werden. Auf diese Weise hüteten wir uns, echte Reizwirkungen mit spontanen Contractionen zu verwechseln. Wenn auch bei Gelegenheit mehrstündigen Experimentirens, bei vielfacher Wiederholung der Wurzelreizungen ein Zusammenfallen einer spontanen Contraction mit der Reizung das eine oder andere Mal nicht mit absoluter Sicherheit auszuschliessen war, so lag hierfür in der Häufung der Versuche hinreichende Bürgschaft, dass solche Ausnahmsfälle bei der Zusammenfassung der massenhaften Einzelergebnisse keine Rolle gespielt haben. Ausserdem schützte uns vor Täuschung durch Zufälligkeiten der Umstand, dass den Wurzelpaaren, wie unsere Versuche lehren, gesetzmässig auf einander folgende motorische Functionsgebiete zugehören. . . . . . .

Wir haben diesen Erregbarkeitsverhältnissen als Versuchsbedingungen die grösste Aufmerksamkeit geschenkt und sind hier näher darauf eingegangen, weil auf der sorgfältigen Beachtung derselben die Reinheit der Experimente beruhte; unser Hauptbestreben zielte dahin, möglichst viele Einzelbeobachtungen am zeitweilig ruhenden, aber gleichwohl erregbaren[1]) Darme auszuführen."

Ich glaube, das genügt. Die ganze Manier Horton-Smith's, eine wissenschaftliche Frage so kurzweg zu erledigen, überlasse ich ruhig der Beurtheilung der Fachgenossen.

Horton-Smith ist aber auch in seinen eiligen Deductionen nicht ganz consequent vorgegangen. Er schliesst aus dem negativen Ausfalle seiner Versuchsmethode, dass wir bei der Reizung der Hinterwurzeln durch spontane Contractionen getäuscht worden sind. Er schliesst aber ausserdem, dass Oesophagus, Magen, Dünndarm und der obere Theil des Dickdarmes[2]) auch von den Vorderwurzeln nicht innervirt wird. Das hatten wir schon früher gefunden; er bestätigt also dieses unser Ergebniss, überlegt aber nicht weiter, warum uns nie bei der Reizung der Vorderwurzeln derselben Präparate die ominöse Peristaltik getäuscht hat! Man muss an Spuck und Zauber glauben, wenn man diese Art von Schlussfolgerung ernst nehmen soll.

1) Also im ungehemmten Darme.

2) Ich bediene mich einer anderen Nomenclatur und bezeichne den ganzen Darmabschnitt zwischen Pylorus und Rectum nach Ecker als „Dünndarm" oder vergleichend anatomisch als „Mitteldarm".

Wir haben wiederholt angegeben, dass einzelne Versuche wegen besonders bewegter und länger anhaltender Peristaltik verloren gingen. Das wird Niemanden befremden, welcher je im Gebiete der Darmphysiologie gearbeitet hat. Wir verhehlten auch nicht, dass wir auf Individuen stiessen, bei denen die directe und indirecte Erregbarkeit des Darmes so gering war, dass die Resultate unbestimmt oder negativ ausfielen. Aber bei der Mehrzahl der Fälle erhielten wir die charakteristischen Wirkungen und zwar bei in Pausen wiederholter Reizung derselben Hinterwurzeln immer im gleichen Bezirke, nie in weit auseinander liegenden Abschnitten und mit Ausnahme des Rectums, nie bei Reizung der entsprechenden Vorderwurzeln. Diese Versuche drängten zu unseren Schlüssen und führten zur annähernden Feststellung der aufeinanderfolgenden Functionsgebiete der Hinterwurzelpaare. Wir verfügten über eine Reihe von besonders günstigen und widerstandsfähigen Präparaten, von welchen jedes durch mehrere Stunden hindurch untersucht wurde, wobei zehn- bis zwanzigmalige Wiederholung der Reizung einer und derselben Hinterwurzel fast immer in Form und Umfang gleiche Wirkung im gleichen Darmtheile hervorgerufen hat. Die zur Vergleichung der Hinter- und Vorderwurzel bestimmten Präparate waren curarisirt, um Erschütterung oder Verschiebungen des Darmtractus in Folge des Tetanus bei Reizung der Vorderwurzel auszuschliefsen.

§ 6. Erforderliche Reizstärken.

Dies ist ein für eventuelle Nachuntersuchungen wichtiger Punkt. Ich habe auch hierüber in der ausführlichen Mittheilung die nöthigen Angaben gemacht. Unser Inductorium wurde von zwei Daniell'schen Elementen oder einem Leclanché-Element betrieben; die secundäre Spirale fasste 4115 Windungen. Horton-Smith beschreibt seinen Apparat nicht näher, gibt aber subjective Daten über die Stromwirkung auf der Zunge, was mich in die angenehme Lage versetzt, zu constatiren, dass unsere Apparate bei gleichem Rollenabstande entweder gleiche oder jedenfalls sehr vergleichbare Leistungen aufweisen.

Horton-Smith gibt an: Eben merkbare Empfindung auf der Zunge bei 19 cm, starke Empfindung bei 11 cm Rollenabstand.

Ich fand: Eben merkbare Empfindung bei 17 cm, starke bei 11 cm, schon etwas brennende bei 9—8 cm Rollenabstand.

Ich reizte mit Strömen von 13—7 cm Rollenabstand, Horton-Smith mit Strömen von 20—14 cm Rollenabstand. Horton-Smith hat mit Reizstärken gearbeitet, welche überhaupt ausserhalb des Bereiches der Wirksamkeit liegen. Die sorgsamste Berücksichtigung und Ausschliessung der nächstliegenden Fehlerquellen, der Stromschleifen und unipolaren Wirkungen, auf welche ich unten zurückkomme, ist heutzutage eine selbstverständliche Pflicht des Experimentators, aber man darf auch nicht die Vorsicht übertreiben. Die centrifugalen Hinterwurzelfasern sind weit entfernt, in Bezug auf die elektrische Erregbarkeit eine besondere Ausnahme zu bilden. Viele, vielleicht die Mehrzahl der Nerven von glattmuskeligen Organen bedürfen zur erfolgreichen Erregung ähnlicher oder sogar grösserer Reizstärken. Zur Erhärtung desselben will ich ein paar eigene und neuere fremde Erfahrungen anführen: Um beim Frosche vom Vagus aus Bewegung der Speiseröhre und des Magens auszulösen, sind Ströme von 10—7 cm Rollenabstand erforderlich; ich prüfte dieses Verhalten sehr oft bei Anlegung der Elektroden an die Oblongata dicht beim Vagusursprung; grössere Rollenabstände als 10 cm fand ich unwirksam; zwischen 9—10 cm R.-A. begann schwache Wirkung am Oesophagus, erst bei 8 cm R.-A. war der Effect ein deutlicher, es kam zur Wanderung der Speiseröhre und des Magens gegen den Schlund hin und zu starken Einschnürungen dieser Organe — und das beim Vagus, dem dominirenden Bewegungsnerven des Darmtractus!

Um die Gefässe der Schwimmhaut vom Ischiadicus aus in Contraction zu versetzen, sind Rollenabstände von 6—0 cm nöthig.

Aus den Studien Piotrowski's[1]) über den peripheren Gefässmechanismus entnehme ich folgende Daten: Reizung des Lingualis beim Hunde (Zungengefässe) 6 cm R.-A.; Reizung des Hypoglossus beim Hunde (Zungengefässe) 6 cm R.-A.; Reizung des Ischiadicus beim Hunde (Pfotengefässe) 6—4 cm R.-A. Es wird ausdrücklich angegeben, dass bei grösseren Rollenabständen als 6,5 cm

---

1) Dieses Archiv Bd. 55 S. 240. Du Bois' Schlittenapparat. Zwei Daniell. Windungszahl ist nicht vermerkt; vermuthlich ist dieselbe grösser, als bei meinem alten Apparate — bei den neueren Inductorien zu physiologischen Zwecken finden sich gewöhnlich 6—10 000 W.

keine Wirkung erfolgte; nur bei einzelnen Versuchen beginnt dieselbe bei 8 cm R.-A. — Reizung des Sympathicus beim Kaninchen (Ohrgefässe) 10—6 cm R.-A. — Reizung des Nervus erigens (Ruthengefässe) 6—4 cm R.-A.

Schliesslich möchte ich einige Notizen über den Herzvagus dieser Betrachtung einverleiben, weil die Innervationsart durch Einschaltung von Ganglien den Verhältnissen am Darme vergleichbar ist. F. Hofmann[1]) erzielte bei Reizung der Scheidewandnerven des Frosches Anfangswirkung mit 8—10 cm R.-A. (Abschwächung der Contractionen des Ventrikels), volle Wirkung (diastolischen Herzstillstand) erst bei 6—3 cm R.-A. Bei Reizung des Vagus selbst erfolgten die typischen Erscheinungen bei 10—6 cm R.-A.

Diese kleine Zahl von Beispielen dürfte ausreichen, um nachzuweisen, dass man auf viele wichtige anerkannte Ergebnisse Verzicht leisten müsste, wenn man nur die Wirkung schwächerer Ströme anerkennen will.

Wir haben, wie schon erwähnt, mit Strömen von 13—7 cm R.-A. gereizt. Die meisten und unverkennbaren Ergebnisse am Darme dürften wir bei 9,5—7 cm R.-A. erzielt haben; nur in einigen Fällen wurden die Rollen bis auf 6 cm genähert, und zwar dann, wenn es darauf ankam, eine deutliche Anfangswirkung, welche schon bei grösserem Rollenabstande auftrat, ad maximum zu verstärken. Ich will nun nochmals recapituliren, durch welche Cautelen wir den Fehlerquellen vorgebeugt haben:

a) Stromschleifen auf die Vorderwurzeln. Solche kamen bei Reizung der 3.—6. Hinterwurzeln, welche den Oesophagus, Magen und Dünndarm versorgen, nicht in Betracht. Reizung der gleichnamigen Vorderwurzeln mit denselben Stromstärken war erfolglos. Dieselben führen keine motorische Fasern für den Vorder- und Mitteldarm, was Horton-Smith bestätigt.

Bei Untersuchung des Rectums und der Blase ergab sich, dass diese Organe sowohl von Vorderwurzeln, als auch von Hinterwurzeln innervirt werden. Bei der Prüfung der Hinterwurzeln schützten uns vor Stromschleifen die vielen Versuche, welche wir an nicht curari-

1) Ueber die Function der Scheidewandnerven des Froschherzens. Dieses Archiv Bd. 60 S. 139. Ich citire gerade diese Arbeit über den Herzvagus, weil sie in unserem Institute zufällig mit demselben und ebenso betriebenen Inductorium ausgeführt wurde, welches ich zu den Wurzelreizungen benützt habe, und weil sie genaue und verlässliche Angaben über die Stromstärke enthält.

sirten Thieren ausführten. Ein Uebergreifen des Stromes musste sofort von der durch die entsprechende Vorderwurzel versorgten quergestreiften Muskulatur signalisirt werden; übrigens ereignet sich dies nur bei maximalen Reizen, wie sie bei unseren Experimenten niemals in Anwendung kamen und bei erheblicher Abrückung der Elektroden vom Querschnitte — bei den schwächeren Wurzeln (6. 7.) etwa bei 3—2 cm R.-A., bei starken Wurzeln (8. 9.) bei über einander geschobenen Rollen und da nur in wenigen Fällen.

Selbstverständlich wurden die Elektroden weit vom Spinalganglion an verschiedenen Punkten der Wurzel und am Querschnitte angelegt.

Nach wirksamer Reizung der Hinterwurzel habe ich oft zur Controle die Elektroden auf die unmittelbare Nachbarschaft des betreffenden Segmentes aufgesetzt und mich überzeugt, dass die Wirkung nun ausblieb.

b) Unipolare Ableitung. Auch bezüglich dieser Möglichkeit kann jedes Inductorium für eine bestimmte Versuchsanordnung geaicht werden. Wenn ich z. B. den Ischiadicus eines gewöhnlichen Nervmuskelpräparates an seinem dünnen unteren Theil fest abbinde und die Elektroden nicht weit oberhalb der Ligatur ansetze, so erhalte ich tetanische Zuckungen des Muskels bei einem Rollenabstande von etwa 2 cm. Diese unipolare Wirkung verschwindet vollständig bei Ableitung der unteren Elektrode zur Erde (Gasleitung) und erneuert sich auch nicht mehr bei weiterer Verstärkung des Stromes. Für unsere Versuche sind die Controlen an den Hinterwurzeln selbst besonders massgebend. Dazu eignet sich die lange dünne siebente Hinterwurzel. Im feuchten Zustande beginnt unipolare Wirkung bei etwa 2,5 cm R.-A., beim Eintrocknen der Wurzel auf den Elektroden kann sie schon bei 4 cm R.-A. eintreten, indem die Schliessung noch unvollkommener wird; bei Ableitung zur Erde hört die unipolare Wirkung auf. Ich habe diesen bekanntlich von Engelmann angegebenen Kunstgriff sehr brauchbar gefunden. An den dicken achten und neunten Hinterwurzeln der grossen Esculenten wird unipolare Wirkung, wofern sie bei Benützung des oben genannten Apparates überhaupt zum Vorscheine kommt, erst bei über einander geschobenen Rollen merkbar [1]). Es bedarf kaum der Er-

1) Obige Erfahrungen hat Herr Wana, welcher viele Hunderte von Hinterwurzeln prüfte, controlirt und bestätigt. (Vgl. die nächstfolgende Abhandlung dieses Archivs.)

wähnung, dass man den Beginn der unipolaren Wirkung nicht etwa durch Ausschalten eines Poles feststellen darf, was die Ableitung naturgemäss sehr begünstigt.

Wie diese Bemerkungen bezeugen, habe ich allen denkbaren Umständen strengstens Rechnung getragen; durch die Wahl der Reizstärke, durch die grosse Anzahl der an nicht curarisirten Präparaten vorgenommenen Versuche waren unsere Ergebnisse vor den möglichen Gefahren bezw. Täuschungen gesichert.

Es ist mir überdies gelungen, die centrifugalen Hinterwurzelfasern auch auf natürlichem Wege, und zwar reflectorisch, in Erregung zu versetzen — insbesondere beim Rectum und der Blase. (Reflex von Hinterwurzeln auf Hinterwurzeln.) Nach Durchschneidung sämmtlicher Vorderwurzeln des Plexus ischiadicus und Durchtrennung des oberen Rückenmarkes bewirkt Reizung der centralen Stümpfe der Hinterwurzeln auf der einen Seite deutliche Contraction der Blase, welche nur mehr durch die unversehrten Hinterwurzeln der anderen Seite mit dem Centrum in Verbindung steht (cit. ob. S. 616).

Horton-Smith berichtet über einen Versuch, bei welchem Reizung der Vorderwurzel bei 33 cm R.-A. schon Blasenwirkung gab und stellt diesen Fall ausdrücklich als Beleg für die ausserordentliche Erregbarkeit der die Blase versorgenden Vorderwurzeln hin. Würde Horton-Smith die Arbeit, deren Resultate er bekämpft, ganz durchgelesen haben, so hätte er auch über diesen Punkt genaue Auskunft gefunden. Ich erörterte dort (cit. ob. S. 614 u. f.) ausführlich, warum am nicht curarisirten Thiere die Function der Vorderwurzeln scheinbar über die der Hinterwurzeln überwiegt. Die Reizwirkung der vorderen Wurzeln setzt sich nämlich aus zwei Componenten zusammen; erstens aus der Wurzelwirkung im engeren Sinne und zweitens aus einer directen mechanischen Erregung der Blase, welche durch die Tetanisirung der benachbarten Muskulatur im Ganzen erschüttert und in der Gegend des Halses noch besonders krampfhaft umschnürt wird. Es ist also klar, dass jede Stromstärke, welche die Beckenmuskulatur in starken Tetanus versetzt, auch die Blase zur Contraction bringen kann. Nach Ausschaltung der secundären Componente durch vollständige Curarisirung werden die Wirkungen ziemlich ebenbürtig; bald sind die hinteren, bald die vorderen Wurzeln etwas überlegen. Wir haben einzelne Beobach-

tungen verzeichnet, wo die Hinterwurzeln sich stark wirksam, die Vorderwurzeln hingegen sich absolut unwirksam verhielten.

Die Blase der Esculenten wird von den vorderen und hinteren siebenten, achten und neunten Wurzelpaaren innervirt, wobei die siebenten und neunten meist das Uebergewicht haben; die zehnten Wurzeln haben wir wegen ihrer Dünnheit und Feinheit gleichzeitig mit den entsprechenden neunten gereizt.

§ 7. Ueber die Innervation des Vorder- und Mitteldarmes, abgesehen von der des Vagus.

Aus der Untersuchung Horton-Smith's ergibt sich als hauptsächlichste Schlussfolgerung, dass der Oesophagus, der Magen, der Dünndarm und der obere Dickdarm — nach der vergleichend anatomischen Nomenclatur der ganze Vorder- und Mitteldarm — einzig und allein vom Vagus innervirt werden.

Ich werde zunächst von meinen Ergebnissen an den Hinterwurzeln abstrahiren und will lediglich an der Hand bekannter physiologischer Versuche und auf Grund anatomischer Befunde den Nachweis führen, dass diese Behauptung Horton-Smith's durchaus unhaltbar ist.

a) Goltz[1]) hat schon im Jahre 1872 gezeigt, dass der Froschmagen nicht ausschliesslich vom Vagus versorgt wird. Ich habe auf dessen Abhandlung wiederholt verwiesen; Horton-Smith nahm keine Notiz davon. Goltz hat nach vorheriger Durchschneidung beider Vagi die Medulla oblongata stark mechanisch gereizt (durch Einführung einer Sonde) und dadurch Einschnürungen des Magens hervorgerufen. Auch reflectorisch, durch Benetzung der Schenkel mit Schwefelsäure, konnte er krampfhafte Bewegungen des Magens auslösen, wiewohl die Vagi durchschnitten waren — „die Nerven, welche diesen Einfluss vermitteln, müssen dem Systeme des Sympathicus angehören und im Mesenterium des Magens verlaufen.“

b) Um sich über die Thatsache, dass auch eine spinale Darminnervation besteht, im Allgemeinen zu orientiren, empfehle ich folgenden leicht auszuführenden Rückenmarksversuch: Man legt die Centralorgane am curarisirten Thiere frei,

1) Dieses Archiv Bd. 6 S. 639.

entfernt vom Hirn alles bis auf die Kleinhirnleiste und das Kopfmark und schneidet ein kleines, dem Ursprunge der Brachialwurzeln entsprechendes Stückchen des Rückenmarkes aus. Reizung des Kopfmarkes mit Strömen von 8 cm R.-A. erzeugt durch Vermittelung des Vagus Bewegung des Oesophagus und der Cardia oder auch des ganzen Magens. Wenn man jetzt abwartet, bis die Organe wieder geglättet und in Ruhe sind, was sich bei der Unversehrtheit des Hemmungscentrums rasch vollzieht, und dann die Elektroden auf die Oberfläche des Rückenmarkes setzt, etwa auf die Einmündungsstelle der vierten Wurzeln, so beobachtet man Contractionen am Magen, besonders in den unteren Partieen und am pylorischen Theile des Dünndarmes. Reizt man tiefere Segmente, so zeigt sich Bewegung und Einschnürung einzelner Dünndarmschlingen. (Vgl. meine früheren Rückenmarksversuche cit. ob. S. 610 § 9.)

Zur Sicherung kann man auch bei diesem Versuche die untere bezw. die dem Ableitungsgebiete nähere Elektrode zur Erde ableiten; Aufsetzen der Elektrodenspitzen auf den markfreien Wirbelkanal gibt keinerlei Wirkung.

c) Waters[1]) hat im physiologischen Institute in Leipzig unter Ludwig's Leitung (1879) die spinale Innervation des Darmtractus näher verfolgt. Er untersuchte nicht die Wurzeln, sondern prüfte die Stämme der Spinalnerven central vom Abgange der Rami communicantes (Du Bois' Inductorium 6—8 cm R.-A.). Seine Befunde lauten:

Dritter Spinalnerv. Peristaltik des Oesophagus bis zur Cardia und. Gefässcontraction.

Vierter Spinalnerv. Peristaltik am Magen und Gefässcontraction.

Fünfter Spinalnerv. Schwache peristaltische Wirkung am oberen Dünndarme und Gefässcontraction.

Sechster Spinalnerv. Peristaltik in den unteren zwei Dritteln des Dünndarmes und Gefässcontraction.

Siebenter Spinalnerv. Dasselbe am Rectum und Dünndarmende.

Achter Spinalnerv. Gefässcontraction an der Blase.

---

1) Journal of Physiology Vol. 6 p. 460.

Waters hat namentlich auf die Wirkung der Vasoconstrictoren[1]) geachtet. Ich bin auf dessen Abhandlung erst nach Abschluss meiner Hinterwurzel-Arbeit aufmerksam geworden und war erstaunt über die vielfache Uebereinstimmung der von Waters verzeichneten Functionsgebiete der Spinalnerven mit den von uns ermittelten Functionsgebieten der Hinterwurzeln. Nachdem es feststeht, dass der Vorder- und Mitteldarm von den vorderen Wurzeln nicht versorgt wird, geben schon die Waters'schen Resultate einen Fingerzeig, von welchen Wurzeln die Spinalnerven ihre motorischen Fasern beziehen.

Die Versuche von Goltz und von Waters sind, wie die unsrigen, an Rana esculenta angestellt.

d) In seiner ausgezeichneten monographischen Neubearbeitung des Nervensystems des Frosches gibt Gaupp[2]) auch eine eingehende Darstellung der Ramificationen des Vagus. Von den neun Hauptästen desselben verzweigen sich zwei am Darme:

Der Ramus oesophageus et gastricus superior läuft nach seinem Durchtritte durch den Musculus transversus subserös im Magen weiter und vertheilt sich daselbst in einen auf- und absteigenden Ast.

Der Ramus oesophageus et gastricus inferior spaltet sich in mehrere feine Zweige und versorgt ebenfalls die Speiseröhre und den Magen.

Gaupp beschreibt also für den bei grösseren Thieren etwa 9 cm langen Vorderdarm zwei Vagusäste bis in ihre letzten Endigungen; aber für den etwa 35 cm langen Mitteldarm, welchen Horton-Smith gleichfalls, und zwar allein vom Vagus versorgen lässt, wird nicht ein einziger Ast beschrieben. Bei den bis ins kleinste Detail eindringenden Untersuchungen Gaupp's wäre ein solcher nicht übersehen worden. Man kann daher mit Bestimmtheit annehmen, dass der Vagus den grössten Theil des Mittel-

1) Dass die visceromotorischen Wirkungen der Hinterwurzeln wesentlich mit der Gefässinnervation zusammenhängen, kann ich nicht annehmen, da ich auch einige wenige Versuche bei aufgehobenem Kreislauf (Ausschneidung des Herzens) ausgeführt, und trotzdem analoge Ergebnisse gewonnen habe. Die Frage aber, ob bei der Hervorrufung von Darmcontractionen die Gefässnerven irgendwie mit betheiligt sind, muss ich offen lassen.

2) Gaupp-Ecker, Anatomie des Frosches. 2. Aufl. (Lehre vom Nervensystem S. 153—156.)

darmes nicht innervirt, und es stehen demgemäss die Angaben Horton-Smith's auch mit der Anatomie des Vagus im vollen Widerspruche.

Ich habe die Medulla oblongata bezw. den Vagus oft gereizt. Man sieht Einschnürungen und Bewegungen des Oesophagus und Magens in allen Formen; die Peristaltik greift, wie erwähnt, manchmal auch auf den obersten Dünndarm (Duodenum) über, aber Contractionen in den tieferen Abschnitten, in den eigentlichen Dünn- und Dickdarmschlingen habe ich nie beobachten können. Die nicht immer wahrnehmbare Peristaltik am obersten Dünndarm wird vermuthlich von makroskopisch nicht verfolgbaren zarten Fäden herrühren, welche von absteigenden Zweigen der Rami gastrici entspringen und erst jenseits des Magens im obersten Dünndarm endigen [1]).

Die Nerven des Mitteldarms, welche anatomisch darstellbar sind, entspringen als selbstständige Aeste aus dem Grenzstrange. Gaupp beschreibt sie als **Nervi splanchnici** [2]), welche die Zweige der Arteria intestinalis zum Magen, Darme und den übrigen Eingeweiden begleiten, — und das sind die Bahnen, mit welchen die durch die Rami communicantes in den Grenzstrang eintretenden motorischen Hinterwurzelfasern zu den peripheren Ganglien des Darmtractus verlaufen.

Den Controlversuchen, welche ich neuerdings nochmals in physiologisch-technischer Richtung unternommen, habe ich nun auch eine histologische Nachuntersuchung beigefügt. Ich bin von der Vorstellung ausgegangen, dass möglicher Weise das Rückenmark selbst von feinsten sympathischen Geflechten umsponnen ist, und dass von diesen vielleicht sympathische Fäden auf dem Wege der Hinterwurzeln aus dem Wirbelcanale austreten. Ich habe daher verschiedene Hinterwurzeln von grossen Esculenten vorsichtig ausgeschnitten, in Zenker'scher Flüssigkeit fixirt und weiter behandelt, und davon Quer- und Längsschnitte angefertigt. In den klaren Serien war nichts von sympathischen Elementen zu entdecken: Es handelt sich also bei unseren Ergebnissen um

---

1) Gaupp-Ecker, Anatomie des Frosches. 2. Aufl. (Lehre vom Nervensystem S. 224—226.) Die Wurzelfasern für die Blase dürften nach Gaupp nicht durch den Grenzstrang, sondern direct in den Aesten des Plexus ischiococcygeus verlaufen.

2) Und welche diesem auch einige Hemmungsfasern zuführen.

viscero-motorische Wirkungen echter spinaler Hinterwurzelfasern.

§ 8. Schlussbemerkungen über Innervationsgesetze.

Aus dem kritischen Theile meiner Darlegungen dürfte deutlich genug hervorgehen, dass die sog. Ueberprüfung unserer Arbeit seitens Horton-Smith's ein Schlag ins Wasser ist. Horton-Smith hat wohl manche Anstrengung gemacht, aber er ist jedem zweckmässigen Beginnen, um der Kenntniss des Thatsächlichen näher zu kommen, scheinbar aus dem Wege gegangen. Der vorliegende Gegenstand beansprucht eine etwas umsichtigere und sorgfältigere Behandlung.

Wenn ich durch Herrn Horton-Smith zu einer entschiedenen Stellungnahme herausgefordert worden bin, so möchte ich in anderer Beziehung nicht missverstanden werden. Ich neige durchaus nicht zur Ansicht, dass unsere Untersuchung die Frage der viscero-motorischen Functionen der Hinterwurzeln etwa erschöpft habe. Ich nehme im Gegentheile an, dass eine systematische, noch weiter ins Detail gehende Fortsetzung der Versuchsreihen manche Ergänzung oder dankenswerthe Correctur fördern könnte; letzteres betrifft vornehmlich die Functionsgebiete der Hinterwurzeln, deren Aufeinanderfolge wir zwar sicher bestimmt, deren Begrenzung wir aber nur annähernd festgestellt haben.

Eine solche kleine Correctur kann ich jetzt selbst nachtragen. Ich habe für die motorische Innervation des Rectums die vorderen und hinteren sechsten und siebenten Wurzelpaare angegeben. Schon damals bemerkte ich häufig bei Reizung der neunten Wurzeln, wobei besonders die Blase reagirt, dass das Rectum gegen die Cloake mitwandert. Da aber das Rectum in seinem unteren Abschnitte bei den Esculenten mit der Blase verwachsen ist, so deutete ich jene Bewegung als eine secundäre, durch die Blase verursachte Wirkung. Einige neuere Versuche überzeugten mich, dass Wanderung desselben bei Reizung der neunten Wurzeln auch nach Zerstörung der Blase eintritt, das Rectum also von den sechsten, siebenten und neunten Wurzelpaaren innervirt wird.

Wünschenswerth wäre gewiss auch eine Ausdehnung der Versuche auf andere niedere Wirbelthiere, bei welchen sich schon auf Grund

histologischer[1]) Forschungen centrifugale Functionen der Hinterwurzeln vermuthen lassen. Soweit ich aber das Material überblicke, scheint die Hinterwurzel der grossen Esculenta das unstreitig günstigste Object für einwurfsfreie physiologische Experimente zu sein. — Vielleicht liessen sich auch bei Selachiern reine Versuche anstellen.

Wenn die technischen Schwierigkeiten zu überwinden wären, könnte es gelingen, vergleichend physiologisch die Classe zu ermitteln, bei welcher die Umordnung der visceralen Fasern aus den hinteren in die vorderen Wurzeln platzgreift. Solche allmälig sich entwickelnde Umordnungen von Fasersystemen kommen bekanntlich vor. Ich hatte selbst Veranlassung, auf ein solches Verhalten gelegentlich meiner Untersuchungen[2]) „über die Irisbewegung bei den Wirbelthieren und über die Beziehung der Pupillarreaction zur Sehnervenkreuzung im Chiasma" hinzuweisen. Ich habe damals gefunden, dass bei der weitaus überwiegenden Mehrzahl der Wirbelthiere (Fische, Amphibien, Reptilien, Vögel, niedere Säuger) nur einseitige, directe Pupillarreaction stattfindet, und dass diese Erscheinung an die totale Kreuzung der Sehnerven bezw. ihrer Pupillarfasern gebunden ist. Bei niederen Säugern beginnt zwar Partialkreuzung, aber die blos einseitige Pupillarreaction bleibt bestehen. Der allmälige Uebergang der totalen Kreuzung im Chiasma nervorum opticorum zur Partialkreuzung vollzieht sich in der Weise, dass zunächst (Kaninchen etc.) nur die Sehfasern und erst in der Folge (von den Raubthieren an) auch die Pupillarfasern am Aufbaue des ungekreuzten Bündels theilnehmen, wodurch erst die anatomische Grundlage zum Auftreten der consensuellen Pupillarreaction gegeben wird.

Ich betrachte die Ergebnisse meiner Hinterwurzelarbeit nicht als Ausnahmen des ursprünglichen sog. Bell'schen Gesetzes[3]). Bell hat das grosse Verdienst, in seiner im Jahre 1811 erschienenen Schrift auf die Verschiedenheit der Functionen der Rückenmarkswurzeln aufmerksam gemacht und die ersten diesbezüglichen

1) Vgl. die Angaben von Freud, Kutschin, Klausner über Petromyzon; von Lenhossék über Pristiurus; von Lenhossék, Cajal, Retzius über das Hühnchen etc.

2) Steinach, Untersuchungen zur vergleichenden Physiologie der Iris I. Mittheilung. Dieses Archiv Bd. 47. 1890.

3) Vgl. S. Mayer, specielle Nervenphysiologie in Hermann's Handbuch der Physiologie Bd. 2 S. 227.

Experimente ausgeführt zu haben, jedoch war er weit entfernt von der Aufstellung des Satzes, dass die hinteren Wurzeln der Empfindung dienen, die vorderen der Bewegung. Diese Formulirung fusst auf den grundlegenden Versuchen Magendie's. Bell hat dieselbe erst in späteren Reproductionen seiner Schrift aufgenommen, aber sie gilt seitdem allgemein als Bell'scher Lehrsatz.

Erst in neuester Zeit wurde dieser Satz dahin erweitert, dass alle centripetalen Bahnen in den hinteren Wurzeln, alle centrifugalen Bahnen in den vorderen Wurzeln verlaufen. In dieser Fassung ist das Innervationsgesetz allerdings nicht haltbar.

Unsere Versuche über die viscero-motorischen Functionen der Hinterwurzeln — sowie die bekannten früheren Arbeiten Strickers[1]) über die Vasodilatatoren — haben nur experimentelle Beiträge erbracht, welche darthun, dass die hinteren Rückenmarkswurzeln zum Theile gemischter Natur sind, im Gegensatze zur rein motorischen der Vorderwurzeln.

Eine echte bedeutsame Ausnahme des Bell'schen Gesetzes will Horton-Smith gefunden haben; er verkündet, dass die Hinterwurzeln motorische Fasern für die Skelettmuskulatur führen. Mit Rücksicht auf die Tragweite dieser Angabe hat Herr J. Wana eine grössere statistische Untersuchung angestellt, über deren Resultate er in der nächstfolgenden Abhandlung kurz berichten wird.

§ 9. Notiz betreffend eine neue bestätigende Nachprüfung meiner Hinterwurzel-Versuche.

Nach Absendung des Manuscripts dieser Abhandlung erhielt ich die Nachricht, dass kürzlich meine Hinterwurzel-Versuche im physiologischen Institute zu Leipzig mit positiven Erfolgen nachgeprüft wurden: Herr Dr. Szymanowski hat die motorische Wirkung verschiedener Hinterwurzeln auf die Eingeweide des Frosches bestätigt gefunden und wird seine diesbezügliche Untersuchung in diesem Archive veröffentlichen.

1) Und seiner Schüler (Gärtner, Hasterlik und Biedl); ferner die Nachuntersuchungen Morat's. Letzterer tritt neuerdings auch für das Vorhandensein besonderer trophischer Fasern in den Hinterwurzeln ein.

(Aus dem deutschen physiologischen Institut der Universität Prag.)

Ueber abnormen Verlauf einzelner motorischer Nervenfasern im Wurzelgebiet.

Von

Julius Wana,
stud. med.

Professor Steinach hat mich veranlasst, eine neuerliche Nachprüfung des Bell'schen Gesetzes vorzunehmen, da Horton-Smith[1]) auf Grund einer in Cambridge unter Leitung Professor Langley's durchgeführten Untersuchung die Angabe macht, dass in den Hinterwurzeln des Frosches motorische Fasern „efferent fibres" für die **Skelettmuskulatur** verlaufen.

Horton-Smith arbeitete nur an Temporarien und zwar an den 6., 7., 8. und 9. Hinterwurzeln. Wenn er auch die Wirkungen der motorischen Hinterwurzelfasern nicht bei allen benützten Versuchsthieren nachweisen konnte, so will er dieselben doch relativ häufig ermittelt haben. Er theilt z. B. mit, dass er die achten Hinterwurzeln wirksam fand einmal bei je vier Fröschen, die neunten bei je sechs Fröschen. Die motorische Function war gewöhnlich auf eine Seite und einzelne Muskeln des Frosches beschränkt.

Ich habe meine Experimente im Spätherbst vergangenen Jahres an einem frischgefangenen, vorzüglichen Material von Temporarien und Esculenten angestellt. Die Muskeln waren rosa gefärbt und höchst erregbar. Die Länge der Temporarien betrug bei den kleineren Exemplaren — von der Schnauzenspitze bis zur längsten Zehe gemessen — circa 17—18 cm, bei den stärkeren circa 22 cm; die Esculenten waren alle wesentlich grösser. Ich untersuchte die 7., 8., 9. und 10. Hinterwurzeln[1]). Nach kurzer Uebung gewinnt man so viel Sicherheit, dass man durch die Präparation keine

1) Journal of Physiology Vol. 21 p. 105.

Wurzeln mehr verliert oder beschädigt. Ich bin bei der Arbeit folgendermaassen vorgegangen:

Nach der Decapitation und nach Kauterisation der Karotiden habe ich das Rückenmark freigelegt, zunächst die eine Hälfte des Thieres enthäutet, die Hinterwurzeln dieser Seite möglichst weit central durchschnitten und der Reihe nach mit Inductionsströmen geprüft. (Du Bois' Inductorium, Secundäre-Spirale 5000 W, 1 Leclanché-Element.)

Die 10. Wurzel wurde mit der 9. zusammen gereizt und nur in zweifelhaften Fällen getrennt untersucht. Ausserdem wurde der Schwellenwert einer Vorderwurzel derselben Seite bestimmt. Mit diesem Schwellenwert begann ich jede der Hinterwurzeln zu reizen. Dann verstärkte ich stufenweise den Strom ad maximum und wiederholte die Reizung bei jedem Grade der Stromstärke mehrmals hinter einander, so dass jede einzelne Hinterwurzel sehr oft und bei verschiedensten Intensitäten geprüft wurde und hierbei alle etwa in Betracht kommenden Muskeln genau beobachtet werden konnten. In gleicher Weise behandelte ich dann die Wurzeln der anderen Seite.

Bei der Mehrzahl der Präparate ist mir aufgefallen, dass einzelne Muskeln bezw. Theile derselben spontan zucken. Diese fibrillären Zuckungen können nicht bloss von oberflächlicher Vertrocknung der Muskulatur herrühren, denn sie entstehen und dauern oft auch an unter fortgesetzter Befeuchtung derselben. Manchmal setzten sie aus, um nach einer längeren Pause wiederzukehren. Die im Beginne des Versuchs auftretende Fibrillen-Zuckung ist wohl auf die bei der Enthäutung von verwachsenen Stellen unvermeidliche mechanische Reizung zu beziehen, während die späteren spontanen Contractionen auf feinen Erregungen Seitens des freigelegten Rückenmarkes beruhen dürften. Es ist natürlich sehr leicht, eine Verwechslung dieser Erscheinung mit echten Reizeffecten auszuschliessen.

Die ziffernmässigen Hauptresultate meiner statistischen Arbeit sind in beistehender Tabelle (s. S. 557) zusammengestellt:

Im Verhältniss zur grossen Masse der geprüften Hinterwurzeln erscheint die Zahl der wirksam gefundenen geradezu verschwindend[1]).

1) Eine erhebliche Anzahl 5. und 6. Hinterwurzeln hat Professor Steinach eigens in Bezug auf Skelettmuskel-Wirkung geprüft — alle mit negativem Erfolge.

Bei näherer Untersuchung dieser sporadischen Fälle ergab sich:
a) Von keiner der 7 Wurzeln wurde mehr als 1 Muskel erregt; 3 derselben bewirkten sogar nur Contractionen in gewissen Fasergruppen des einen Muskels (Fibrillenzuckung*). Diese Beschränkung erfuhr keinerlei Aenderung, wenn ich den Strom ad maximum verstärkte.

Bezeichnung der Hinter-wurzeln	Summe der untersuchten Hinter-wurzeln	Motorisch wirksam gefunden	Die motorische Wirkung bestand in Contraction oder Fibrillenzuckung (*) des				Summe der inner-virten Muskeln
			Musc. semimem-branos	Musc. rect. ant.	Musc. tibial.	Musc. plantar.	
VII	283	0	—	—	—	—	—
VIII	314	2	1	1*	—	—	2
IX	316	5	2	—	1	2*	5
X	316	0	—	—	—	—	—
Total:	**1229**	**7**	3	1*	1	2*	**7**

b) Das berechnete Mittel der Reizschwelle für die wirksamen 7 Hinterwurzeln betrug 28 cm RA, jenes der entsprechenden 7 Vorderwurzeln 56 RA (übereinstimmend mit dem Gesammtmittel der Schwelle bei allen geprüften Vorderwurzeln). Die Erregbarkeit der wirksamen Hinterwurzelfasern war also an und für sich wesentlich geringer als die der Vorderwurzelfasern. Was aber im höchsten Grade auffiel, war der Umstand, dass die Erregbarkeit dieser Hinterwurzeln in kürzester Zeit sank und erlosch, ohne dass dieselben etwa durch irgendwelche Manipulationen geschädigt worden wären. In zwei Fällen schwand die Wirksamkeit in wenigen Minuten, gewissermaassen unter den Händen. Die Erregbarkeit der entsprechenden Vorderwurzeln blieb über eine Stunde fast ungeschwächt bestehen.

Aus Punkt *a* und *b* lässt sich ableiten, dass es sich bei jeder

1) H. E. Hering hat gelegentlich anderer Versuche beim Frosch die periphere Reizung der hinteren Ischiaticuswurzeln mit Rücksicht auf etwaige Skelettmuskel-Wirkung mehrmals vorgenommen und hat auch, entsprechend allen früheren Angaben, immer negative Ergebnisse erhalten (vide Randbemerkung dieses Archiv Bd. 68 S. 6). Es versteht sich von selbst, dass in der vorliegenden Frage nur eine grössere statistische Untersuchung einige Aufklärung bringen konnte.

der 7 gefundenen Anomalieen lediglich um die Wirkung einer oder einzelner Nervenfasern handelte, und dass diese sehr wahrscheinlich an der äussersten Peripherie der Hinterwurzel oder an sie angelehnt verliefen, wofür besonders die rapid sinkende Erregbarkeit und das rasche Absterben sprachen.

c) Bei den 2 letzten der beobachteten Fälle habe ich sofort nach Constatirung der Wirksamkeit die entsprechende Vorderwurzel in ihrer ganzen Länge freipräparirt und dieselbe nach Wiederholung der Hinterwurzelreizung unmittelbar vor dem Vereinigungswinkel durchschnitten. Damit war die motorische Wirksamkeit der Hinterwurzel vollständig vernichtet. Leider haben wir nachher keine weiteren Anomalieen mehr entdecken können, um diesen wichtigen Controlversuch zu erneuern.

d) Jene 7 Wurzeln gehörten kleinen Exemplaren von Temporarien an. Bei allen grösseren Temporarien, sowie bei allen Esculenten fielen die Reizergebnisse negativ aus. Ich habe im Ganzen 639 Hinterwurzeln von Temporarien und 590 Hinterwurzeln von Esculenten untersucht.

Trotzdem die Zahl der gefundenen Anomalieen verschwindend war, und sie gerade den kleinsten Thieren entstammten, und trotzdem bei 2 Fällen der motorische Erfolg mit der Durchschneidung der Vorderwurzel erlosch, so möchte ich doch nicht annehmen, dass diese Regelwidrigkeiten von Versuchsfehlern herrühren. Ich habe mich wenigstens bei einem Theile der sieben Fälle streng davon überzeugen können, dass die Reizwirkung bei schwachen Strömen nicht allein in der peripheren Strecke, sondern ebenso vom Querschnitte der Wurzel aus, also weit vom Ganglion sich einstellte. Es handelt sich hier offenbar um ausserordentlich seltene Fälle von abnormem Verlauf einzelner motorischer Nervenfasern im Wurzelgebiete.

Solche Anomalieen hat Richard Hilbert[1]) unter Leitung Kupffer's ermittelt und in einer sehr beachtenswerthen, aber wenig bekannten Dissertation mitgetheilt. Es würde zu weit führen, hier auf alle diese mannigfaltigen Varietäten einzugehen. Nur auf einige Punkte von besonderem Interesse möge hingewiesen sein. Hilbert beschreibt feine Nervenfäden, welche aus dem Rückenmark entspringen,

1) Zur Kenntniss der Spinalnerven. Inaugural-Dissertation. Königsberg 1878 (Hartung'sche Buchdruckerei).

sich aber nicht den Spinalwurzeln anschliessen, sondern regelwidrig nach Ursprung und Verlauf in die Meningen eintreten — er nennt sie Nervi spinales meningei; sie führen vorwiegend markhaltige Nervenfasern. Die grösste Abwechslung zeigen Schleifen, durch welche auf einander folgende gleichnamige Wurzeln verbunden sind. Es kommen aber auch zwischen Vorder- und Hinterwurzeln eines Spinalnerven oberhalb des Ganglions Verbindungsfäden vor; alle diese Schleifen und Verbindungsfäden zwischen gleichnamigen und ungleichnamigen Wurzeln enthalten fast nur markhaltige Fasern. Hilbert hat seine Befunde hauptsächlich am Rückenmark des Menschen und der Säuger erhoben. Bei der Häufigkeit derselben kann ich mich der Annahme nicht verschliessen, dass eine statistische Prüfung an den spinalen Wurzeln der Säuger unvergleichlich mehr physiologische Anomalieen fördern würde, als ich sie bei den beiden Froscharten beobachtete. Hilbert hat bloss 2 Temporarien und 2 Esculenten untersucht; kein Wunder, dass er da keine Varietäten gefunden hat.

Bei näherer Würdigung der Hilbert'schen Angaben scheint es auch nicht ausgeschlossen, dass bei der als Sensibilité récurrente beschriebenen Erscheinung, deren Constanz sehr bestritten ist, solche regelwidrige Anastomosen zwischen den Wurzeln eine hervorragende Rolle spielen.

Welcher Art das anatomische Substrat sei bei den paar vereinzelten, von mir am Frosche ermittelten Anomalieen, darüber liessen sich höchstens Vermuthungen anstellen. Im Hinblicke auf jene zwei Fälle, wo die Wirkung nach Durchschneidung der Vorderwurzel ausblieb, könnte man unter anderem daran denken, dass einzelne Nervenfasern irregulär aus dem Rückenmark entspringen, sich an eine Hinterwurzel anlehnen und vor dem Vereinigungswinkel wieder in die Vorderwurzel einbiegen.

Was das Wesentliche unserer Frage betrifft, so geht aus meiner statistischen Arbeit unzweideutig hervor, dass von einer Betheiligung der Hinterwurzeln an der Innervation der Skelettmuskulatur auf Grund so ausserordentlich seltener Anomalieen absolut nicht die Rede sein kann. Die paar Ausnahmefälle von abnormem Verlauf einzelner motorischer Nervenfasern gehören in das Bereich der Raritäten, wie sie in allen Zweigen der Anatomie verzeichnet sind.

(Aus dem physiol. Institut der Universität Lemberg.)

Ueber die Giftwirkung des Harnes.

Von

Professor Dr. **A. Beck.**

Es ist eine seit Langem bekannte Thatsache, dass der Harn Substanzen enthält, welche für den thierischen Organismus giftig sind — waren doch auf dieser Thatsache die toxischen Theorien über die Uraemie gegründet —, aber eine neue, besonders hervorragende Bedeutung erhielt die Lehre von der Giftigkeit des Harnes erst in den letzten Jahren durch die (diese Lehre betreffenden) von Bouchard[1]) und seinen Schülern ausgeführten Arbeiten. Bouchard's Werk über die Autointoxicationen, von dem ein nicht geringer Theil den Untersuchungen der giftigen Eigenschaften des Harnes gewidmet ist, bildete den Ausgangspunkt zahlreicher Untersuchungen auf diesem Gebiete, dabei aber auch zahlreicher Widersprüche.

Von den Ergebnissen der Bouchard'schen Untersuchungen soll hier nur dasjenige kurz angegeben werden, was in das unten zu Schildernde einschlägt.

Nach Bouchard bildet der Harn eine in Bezug auf seine Giftwirkung ziemlich constante Substanz so, dass die zur Tödtung einer Gewichtseinheit des Thierorganismus nothwendige Menge in verhältnissmässig engen Grenzen schwankt und kaum von den Schwankungen im Gehalte der bekannten, beständigen Bestandtheile des Harnes abhängt. Jene Harnmenge, welche zur Tödtung eines Kilogramms Kaninchen genügt (30—60 ccm), und welche Bouchard Urotoxie nennt, bildet die Giftigkeitseinheit, und die Menge der durch ein Kilo menschlichen Körpers in 24 Stunden ausgeschiedenen Urotoxieen

1) Bouchard, Sur les poisons, qui existent normalement dans l'organisme et en particulier sur la toxicité urinaire. Comptes rendus t. 102 no. 12. Gaz hebdom. de méd. et de chir. 1886. no. 13. — Ferner: Influence de l'abstinence musculaire et de l'air comprimé sur la variation de la toxicité urinaire. Comptes rendus t. 102. — Endlich: Leçons sur les autointoxications. Paris 1887.

wird von Bouchard urotoxischer Coëfficient genannt. Dieser urotoxische Coëfficient, somit auch die Stärke der Giftwirkung des Harnes hänge von verschiedenen Umständen ab, wie z. B. von geistiger und körperlicher Arbeit, Nahrungsaufnahme, Schlaf, Tageszeit etc. So unterscheide sich nach Bouchard der während des Tages ausgeschiedene Harn vom Nachtharn sowohl durch die Stärke der Giftwirkung wie auch durch deren Qualität. Der Früh- oder Nachtharn, obwohl mehr concentrirt als der Tagesharn, wirke toxisch bedeutend schwächer als letzterer. Während des achtstündigen Schlafes scheide der menschliche Körper kaum $^1/_4$ bis $^1/_3$ der Menge von Giften aus, welche während achtstündigen Wachseins den Körper verlässt. Ausserdem unterscheide sich der Tag- vom Nachtharn auch dadurch, dass, während ersterer Kaninchen unter Symptomen allgemeiner Lähmung tödte und nur selten Krämpfe hervorrufe, letzterer starke Krämpfe herbeiführe, indem derselbe auf das centrale Nervensystem in hohem Grade erregend wirke[1]). Diesen Umstand betrachtet Bouchard als einen Beweis, der für die toxische Schlaftheorie sprechen soll. Er folgert nämlich daraus, dafs während des Wachseins unter dem Einflusse körperlicher und geistiger Arbeit toxische, narkotische Eigenschaften besitzende Substanzen gebildet werden, welche dank diesen narkotischen Eigenschaften zeitweise Lähmung der Hirncentren, somit Schlaf herbeiführen. Während des Schlafes aber verschwinden diese Körper und an ihrer Stelle werden andere gebildet, deren toxische Eigenschaften antagonistisch zu den ersten wirken, die somit diejenigen Centra zur Thätigkeit erregen, welche unter dem Einflufs jener Substanzen eingeschläfert waren. Dank ihren erregenden Eigenschaften bewirken somit diese Körper, dass der Schlafende unter dem Einfluss schwacher Erregungen wach wird.

Diese Behauptung Bouchard's, welcher auch Preyer zu huldigen scheint, war der eigentliche Ausgangspunkt meiner Untersuchungen über die Giftwirkung des Harnes. Ich machte mir es nämlich Anfangs zur Aufgabe, die Beobachtungen Bouchard's ausführlich zu controliren und zu erweitern. —

Der für die Versuche bestimmte Harn stammte von erwachsenen, im Alter von 22—34 Jahren stehenden Personen (Männern), von denen einige überwiegend mit geistiger Arbeit beschäftigt waren (Assistenten,

1) Bouchard, Sur les variations de la toxicité urinaire pendant la veille et pendant le sommeil. Comptes rendus t. 102 p. 727.

Studenten), andere nur physisch arbeiteten (Instituts-Diener). Alle diese Personen hatten einen ganz normalen Schlaf. Zu den Versuchen wurde „Frühharn“, d. h. dasjenige Excret, welches bald nach dem Erwachen entleert, somit während des Schlafes abgesondert wurde und auch „Abendharn“, i. e. der einige Stunden vor dem Schlafengehen abgesonderte Urin, verwendet. Verglichen wurden selbstredend untereinander die Wirkungen des Früh- und Abendharns von einer und derselben Person. Um den Unterschied zwischen der Wirkung des Früh- und Abendharnes auf das centrale Nervensystem, besonders seine höheren Theile zu untersuchen, beschränkte ich mich nicht allein auf die Beobachtung, ob nach Injection von Urin in den Blutkreislauf bei Kaninchen Krämpfe auftreten oder nicht. Eine derartige Untersuchung wäre zu ungenau, um, wenn sogar dadurch die Ergebnisse Bouchard's bestätigt würden, irgend welche Schlüsse zu gestatten. Können doch Krämpfe verschiedenen Ursprung haben. Sie können die Folge von Erregungen sein in verschiedenen Theilen des centralen Nervensystems von der Hirnrinde bis zum Rückenmark; ja sie können auch, besonders wenn sie local auftreten, ihren Ursprung in den peripheren Organen, in Nerven oder Muskeln nehmen. Aus diesem Grunde wurde in den zu schildernden Versuchen der unmittelbare Einfluss der Harninjectionen auf das centrale Nervensystem, hauptsächlich auf die Erregbarkeit der Hirnrinde untersucht, deren Functionen vor allem während des Schlafes beeinträchtigt sind; in weit geringerem Maasse wurde die Einwirkung solcher Injectionen auf die Reflexthätigkeit des Rückenmarks geprüft

Die Versuche, welche ich behufs Prüfung des Verhaltens der Erregbarkeit der Hirnrinde, nämlich deren psychomotorischen Sphäre unter dem Einfluss von Harninjection aufstellte, wurden in der sonst üblichen Weise durchgeführt. Es wurde derjenige Rollenabstand des du Bois-Reymond'schen Schlittenapparates als Schwellenwert der Erregbarkeit betrachtet, bei welchem die Reizung einer beschränkten Stelle der Hirnrinde eben noch eine minimale Bewegung beispielweise der vorderen Extremität hervorrief. Als Versuchsthiere wurden fast ausschliesslich Kaninchen angewendet, welche, wie Bouchard selbst hervorhebt, auf die Einwirkung von Harninjectionen sehr empfindlich sind. Der Urin wurde aus einer Bürette, entweder streng nach der Vorschrift Bouchard's durch die Ohrvene oder auch durch die Femoralvene behutsam eingeführt, in allen Fällen wurde mit grosser Peinlichkeit darauf geachtet, dass die

Flüssigkeit sehr langsam in den Blutkreislauf gelange. Diese Maassregel ist mit Rücksicht auf die bekannte äusserst grosse Empfindlichkeit des centralen Kreislaufapparates bei Kaninchen auch gegen indifferente Flüssigkeiten sehr zu beachten. Oft kann man bei Kaninchen durch rapide Injection in die Vene nur einiger Cubikcentimeter einer ganz unschädlichen Flüssigkeit starke Störungen des Kreislaufes mitunter sogar den Tod des Thieres unter allgemeinen Convulsionen in Folge von Herzlähmung hervorrufen. Die Nichtbeachtung dieses Umstandes kann leicht zu Fehlern besonders in der Bestimmung der letalen Dosis der giftigen Substanz führen.

Vor Beginn der Injection wurde einige Male der Rollenabstand des du Bois-Reymond'schen Schlittenapparates bestimmt, bei welchem die Reizung der entsprechenden Stelle der Hirnrinde noch eine minimale Bewegung der contralateralen vorderen Extremität hervorrief, dann wurde während der Einführung des Harnes von Zeit zu Zeit wieder untersucht, bei welchem Rollenabstand dieselbe Bewegung auftrat. Nebst der Untersuchung der Erregbarkeit der Hirnrinde, lenkte ich auch meine Aufmerksamkeit auf das Auftreten von Krämpfen und zwar nicht nur von prämortalen Convulsionen, sondern es wurde das Verhalten des Thieres während der ganzen Versuchszeit genau beobachtet, besonders aber darauf geachtet, in wie fern überhaupt während der Einführung des Urins in den Kreislauf irgend welche Erregungserscheinungen von Seiten des centralen Nervensystems auftreten. In manchen Versuchen wurde auch der Einfluss geprüft, welchen der Harn auf die Erregbarkeit der Hirnrinde ausübt, wenn derselbe direct auf die Oberfläche derselben applicirt wird. Es wurde zu diesem Behufe die Hirnrinde abwechselnd mit dem zu untersuchenden Harn und mit physiologischer Kochsalzlösung (beide zur Körpertemperatur erwärmt) berieselt, und das Verhalten der Erregbarkeit auf oben angegebene Weise untersucht. Letztere Untersuchungen wurden überhaupt in geringer Anzahl ausgeführt, und da auch die Resultate derselben schwankend und unsicher ausfielen, kann ihnen keine grössere Bedeutung zuerkannt werden.

Bei der Schilderung dieser Versuche ist es kaum thunlich, den Verlauf derselben ganz treu mit allen Einzelheiten wiederzugeben. Da die Untersuchung der Erregbarkeit der Hirnrinde in ziemlich kurzen Zwischenräumen (nach einander) erfolgte, indem oft nach einer Injection einer geringen Portion Urin eine kurze Pause im

Einführen derselben eintrat, während welcher der Einfluss des Harnes auf die Hirnrinde untersucht wurde, war der Verlauf eines jeden Versuches ziemlich lang und würde es viel Raum einnehmen, wollte ich die Versuchsprotokolle ohne Weiteres anführen. Aus diesem Grunde werde ich mich darauf beschränken, Auszüge aus einigen Versuchsprotokollen anzugeben, wobei selbstverständlich darauf geachtet werden wird, dass diese Auszüge annähernd den Verlauf der Versuche wiedergeben, und dass keine von den wichtigeren beobachteten Veränderungen vernachlässigt werde.

I. Versuche mit Abendharn.

Z.	Gewicht des Kaninchens g	Spec. Gew. des Harns	Dauer vom Beginn der Injection Min.	Menge des eingeführten Urins ccm	Rollenabstand mm	Bemerkungen
I.	1800	1,030	0	0	120	
			4	18	130	
			9	33	140	
			13	43	135	
			15	51	135	
			18	65	135	Starke Krämpfe
			20	67		Tod
II.	1470	1,020	0	0	135	
			4	8	150	
			6	12	145	
			15	27	155	
			25	39	150	
			40	49	145	
	Berieselung der Hirnrinde mit Harn während 1 Min.				155	
	Bespülung derselben mit 0,6 % NaCl . . .				150	
	Während weiterer 25 Minuten wurden noch 50 ccm (zusammen 99 ccm) Harn injicirt, welche sodann Tod unter allgemeinen Krämpfen herbeiführten.					
III.	1800	1,021	0	0	140	
			15	10	145	Schwache, kurz dauerndeKrämpfe
			27	21	155	
			34	34	140	
			57	54	120	
			62	62	130	
			82	101	120	
			98	140	115	Mangels an Harn wurde der Versuch abgebrochen.

Z.	Gewicht des Kaninchens g	Spec. Gew. des Harns	Dauer vom Beginn der Injection Min.	Menge des eingeführten Urins ccm	Rollenabstand mm	Bemerkungen
IV.	1330	1,030	0	0	125	
			4	12,5	140	
			5	16	130	
			13	41	115	Krämpfe
			24	51	120	
			28	62	130	
			31	74,5		Tod unter Krämpfen
V.	670	1,030	0	0	130	
			3	21	135	
			10	40	130	
			15	50	120	
			16	54	150	Krämpfe
			19	60	110	
			22	64		Tod unter starken Krämpfen
VI.	1200	1,030	0	0	155	
			6	5,2	145	
			12	10	150	
			30	20	175	
			40	32	150	
VII.	1000	1,015	0	0	135	
			3	15	135	
			6	25	130	
			18	52,5	130	
			22	70	145	
			32	102	130	
			35	122	125	Starke Krämpfe
			43	140	125	
			54	200	120	Dyspnoë-Erscheinungen
			63	242	120	
			67	270	115	
			77	290	90	
			93	368		Tod unter ungemein starken Krämpfen.

II. Versuche mit Frühharn.

Z.	Gewicht des Kaninchens g	Spec. Gew. des Harns	Dauer vom Beginn der Injection Min.	Menge des eingeführten Urins ccm	Rollenabstand mm	Bemerkungen
I.	1140	1,032	0	0	150	
			5	5,5	145	
			12	8	145	
			26	25	145	Tod
II.	1700	?	0	0	155	
			5	11	145	
			7	18	145	

Z.	Gewicht des Kaninchens g	Spec. Gew. des Harns	Dauer vom Beginn der Injection Min.	Menge des eingeführten Urins ccm	Rollenabstand mm	Bemerkungen
II.	1700	?	11	30	125	
			20	57	150	
			25	64	150	
	Berieselung der Hirnrinde mit demselben auf 38° erwärmten Harn während 2 Minuten				125	
	Abspülung mit warmer 0,6 % NaCl-Lösung				135	
	Nochmalige Berieselung mit Harn				120	
	Mit 0,6 % NaCl-Lösung				130	
	Nach Einführung während 55 Min. 84 ccm Harn				130	Krämpfe bei 77 ccm
III.	1600	1,035	0	0	150	
			5	10	150	
			11	22,5	125	
			14	30,5	125	
			20	50	115	
			23	59	120	Ausgesprochene Krämpfe
				64	0	Tod
IV.	1430	?	0	0	140	
			4	10	130	
			12	24,4	115	
			16	30	120	
			23	60	120	
			33	100	125	
	Nachher steigerte die Berieselung der Hirnrinde mit Harn die Erregbarkeit derselben auf 140 mm Rollenabstand. Der Tod trat nach Einführung von 120 ccm Harn unter starken Krämpfen ein.					
V.	1050	1,029	0	0	110	
			4	15	110	
			13	30	150	
			16	40	145	
			19	50	135	
			23	60	120	
			25	70	0	Tod

Betrachten wir die eben angeführten Versuche, so bemerken wir, dass der Einfluss der Harninjectionen auf die Erregbarkeit der Hirnrinde keineswegs constant ist. Wenn auch die Einführung von Harn in den Blutkreislauf bei Kaninchen immer Veränderungen in dem Verhalten der Erregbarkeit der Hirnrinde hervorruft, so zeigen doch diese Veränderungen keinen regelmässigen Verlauf und, was uns hier am meisten interessirt, sind diese Veränderungen nicht davon abhängig ob wir Früh- oder Abendharn injiciren.

Tabelle I.

Untersuchungen mit Abendharn.

Harnmenge auf 1 kg Kaninchen	I	II	III	IV	V	VI	VII
10 ccm	Schwache Steigerung der Erregbarkeit	Schwache Steigerung der Erregbarkeit		Schwache Steigerung der Erregbarkeit		Ohne Einfluſs	Ohne Einfluſs
20 ccm	Rückkehr zur Norm	Steigerung der Erregbarkeit	Steigerung der Erregbarkeit		Ohne Einfluſs	Bedeutende Steigerung der Erregbarkeit	
30 ccm	Sinken der Erregbarkeit	Steigerung der Erregbarkeit		Sinken der Erregbarkeit		Rückkehr zur Norm	—
40 ccm	—	—		Rückkehr zur Norm		—	—
50 ccm		—	—			—	Ohne Einfluſs
60 ccm	Sinken der Erregbarkeit	—	—	—	Schwaches Sinken der Erregbarkeit	—	—
70 ccm		—	—	—		—	Schwache Steigerung der Erregbarkeit
80 ccm	—	—	—	—	Steigerung der Erregbarkeit	—	—
90 ccm	—	—	—	—	Starkes Sinken der Erregbarkeit	—	—
100 ccm	—	—	—	—	—	—	Rückkehr zur Norm
110 ccm	—	—	—	—	—	—	—
120 ccm	—	—	—	—	—	—	Sinken der Erregbarkeit

Tabelle II.

Untersuchungen mit Frühharn.

Harnmenge auf 1 kg Kaninchen	I	II	III	IV	V
10 ccm		Schwaches Sinken der Erregbarkeit	Ohne Einfluss	Schwaches Sinken der Erregbarkeit	Ohne Einfluss
20 ccm	Ohne Einfluss	Starkes Sinken der Erregbarkeit	Sinken der Erregbarkeit	Starkes Sinken der Erregbarkeit	—
30 ccm		—	Starkes Sinken der Erregbarkeit	—	
40 ccm	—	Rückkehr zur Norm		Starkes Sinken der Erregbarkeit	Steigerung der Erregbarkeit
50 ccm	—		—	—	
60 ccm	—	—	—	—	Rückkehr zur Norm
70 ccm	—	—	—	Sinken der Erregbarkeit	- -

Zur leichteren Orientirung stelle ich die Ergebnisse der Seite 5—7 angeführten Versuche in Form vorstehender zwei Tabellen dar, in denen berechnet wurde, welche Veränderungen in der Erregbarkeit der Hirnrinde jede 10 ccm Harn auf 1 kg Kaninchen hervorriefen (siehe Tabelle I und II).

Soll nun aus diesem sehr unregelmässigen Verhalten der Erregbarkeit der Hirnrinde unter dem Einfluss von Urininjectionen, wie er aus den hier angeführten Tabellen zu ersehen ist, überhaupt irgend ein Schluss gezogen werden, so wird derselbe sicherlich nicht jene Behauptung Bouchard's bestätigen, dass die Qualität der Giftwirkung des Harnes für die toxische Ursache des Schlafes spreche. Denn es ist leicht zu ersehen, dass der Abendharn gar nicht häufiger Herabsetzung der Erregbarkeit der Hirnrinde hervorrief, als der Frühharn. Beide Arten von Harn führen überhaupt öfter eine Herabsetzung als eine Steigerung der Erregbarkeit der Hirnrinde herbei. Im geraden Gegentheile zur Anschauung Bouchard's trat in

meinen Versuchen Steigerung dieser Erregbarkeit eher ein nach Injection von Abendharn als von Frühharn.

Man könnte nun die oben geschilderten Versuche als einen sicheren Beweis gegen die toxische Schlaftheorie betrachten, wenn das Verhalten der Erregbarkeit der psychomotorischen Rindencentra wirklich den Zustand der ganzen Hirnrinde uns anzeigen würde; wenn die Untersuchung dieser Erregbarkeit wirklich uns belehren würde, ob das Thier wach ist oder schläft. Dem ist aber nicht so. Es ist vielmehr bereits bekannt, dass notorisch schlafmachende Mittel wie Morphin etc. auf die Erregbarkeit der Hirnrinde keinen wesentlichen Einfluss ausüben. Derartige Versuche habe ich ebenfalls gemeinsam mit Dr. Czapliński mit verschiedenen Schlafmitteln ausgeführt und haben wir darin eine Bestätigung dieser Angaben gefunden. Im Stadium tiefsten Schlafes, der leicht am Thier zu bemerken war, und der durch Morphin, Hyoscin oder Duboisin herbeigeführt worden ist, war trotzdem die Erregbarkeit der psychomotorischen Rindensphäre nicht merklich herabgesetzt. Andere Schlafmittel, wie beispielsweise Chloroform, verringern allerdings die Erregbarkeit dieser Rindentheile bis zum völligen Schwund derselben.

Ähnlicher Weise kann auch der Umstand, dass Abendharn keine Herabsetzung der Erregbarkeit der Hirnrinde hervorruft, nicht die Möglichkeit ausschliessen, dass dieser Harn etwa schlafmachende Substanzen enthalte, besonders wenn seine Wirkung von derjenigen des Frühharns sich dadurch unterscheiden würde, dass er nie Reizerscheinungen hervorriefe, und, was noch viel wichtiger ist, wenn derselbe narkotisiren, das heisst Schlaf des Thieres herbeiführen würde. Mit anderen Worten die angeführten Versuche könnten nicht als Beweis gegen die Annahme Bouchard's betrachtet werden, und nur wenn deren Ergebnisse positiv ausgefallen wären, würden sie für dieselbe sprechen. Da dies aber nicht der Fall war, so bliebe für diese Annahme als Stütze nur jene vielfach erwähnte Beobachtung von der krampferregenden Wirkung des Frühharns im Gegensatze zum Abendharn, wenn das Auftreten von Krämpfen hier ohne weitere Untersuchungen als eine Erscheinung der Reizung der Hirnrinde betrachtet werden könnte. Dies ist aber, wie unten gezeigt werden wird, nicht richtig. Doch in allen Versuchen, wo Kaninchen-Harn injicirt wurde, habe ich trotzdem genau darauf geachtet, ob während der Injection Krämpfe oder Lähmungserscheinungen auftraten; es wurde notirt, welche Dosis des eingespritzten Urins diese Symptome

hervorrief und endlich auch nach Bouchard constatirt, ob der Tod unter Krämpfen oder allgemeiner Lähmung eintrat.

Die Ergebnisse dieser Beobachtungen in 53 Experimenten waren folgende:

Von 31 Versuchen mit Frühharn erfolgten Krämpfe

am Anfange der Injection (bis zu 20 ccm auf 1 kg Kaninchen) in	4	Fällen	
nach grösseren Dosen (bis zu 40 ccm auf 1 kg)	11	„	
Tod unter Krämpfen	25	„	(80,6 %)
Ueberhaupt wurden Krämpfe beobachtet in .	26	„	(83,9 %)
Keine Krämpfe	5	„	(16,1 %)

Von 22 Versuchen mit Abendharn:

Krämpfe nach kleineren Gaben	9	Fälle	
Krämpfe nach grösseren Gaben	14	„	
Tod unter Krämpfen	16	„	(72,7 %)
Krämpfe überhaupt	18	„	(81,8 %)
Keine Krämpfe	4	„	(18,2 %)

Wir ersehen daraus, dass das Auftreten von Krämpfen keineswegs eine ausschliessliche Wirkung von Nachtharn ist, da sowohl nach Injection von Abend- wie auch von Nachtharn Krämpfe eintreten. Ersterer rief sogar nach kleineren Gaben (bis 20 ccm auf 1 kg) häufiger (9 : 23) Krämpfe hervor als letzterer (4 : 31). Schenken wir diesem minder wichtigen Umstande keine Aufmerksamkeit, so können wir im Allgemeinen den Versuchen entnehmen, dass in Bezug auf die erregende Wirkung auf das Kaninchen der Nachtharn vom Abendharn sich nicht unterscheidet. Dieser Umstand wird leicht verständlich werden, sobald wir die eigentliche Ursache der Toxicität des Urins kennen lernen.

Hier mag nur die Thatsache hervorgehoben werden, dass auch in der Qualität der während und nach Harninjectionen auftretenden Erscheinungen, das heisst im Auftreten oder Ausbleiben von Krämpfen ich keinen Beweis für die Hypothese über die toxische Schlafursache gefunden habe. Im Uebrigen wurde jeglicher Zweifel, der darüber noch gehegt werden könnte, durch einen Versuch verscheucht, welchen wir behufs Eruirung des Ursprungs der Krämpfe ausgeführt haben. Ihrem Aussehen nach machten die nach Harninjection bei Kaninchen etwa eintretenden Krämpfe den Eindruck, dass dieselben nicht cor-

ticalen Ursprungs sein müssen. Um in dieser Hinsicht vollkommene Gewissheit zu erlangen, habe ich folgendes Experiment angestellt:

Einem 1530 g schweren Kaninchen wurden mittelst Thermocauter beide Hirnhemisphären entfernt. Sodann injicirte ich dem Thiere Frühharn von specifischem Gewichte 1,036 langsam in den Kreislauf. Während der Injection werden die Athemexcursionen rascher, erst treten schwache und ziemlich seltene Krämpfe ein, dann aber nach Einführung weiterer Harnportionen werden dieselben immer häufiger und kräftiger. Nach Injection von 73 ccm Harn erfolgt der Tod unter starken allgemeinen Convulsionen. Die Section erwies, dass beide Hemisphären bis auf ein kleines Stückchen des hinteren Theiles des linken Occipitallappens, welches ausserdem mit den zurückgebliebenen Hirntheilen in keinem Zusammenhang stand, entfernt worden sind. Jedenfalls war die psychomotorische Rindensphäre beiderseits vollkommen zerstört und die sensorischen Partieen mit Ausnahme eines kleinen Theiles beseitigt. Da nun die in dem soeben geschilderten Versuche beobachteten Krämpfe sich keineswegs durch irgend welche Eigenschaften von den bei sonst gesunden Kaninchen, denen Harn injicirt wurde, auftretenden unterschieden haben, so zeigt dieser Versuch, dass die nach Harninjection auftretenden Reizerscheinungen ihren Sitz nicht in der Hirnrinde, sondern, wie noch unten weiter gezeigt werden wird, in den niederen Hirntheilen, nämlich im verlängerten Mark, haben.

Eine weitere Consequenz der Beweisführung Bouchard's über die Differenzen in den durch Tag- und Nachtharn hervorgerufenen Symptomen war die Behauptung desselben Autors, dass zwischen beiden Harngattungen ein gewisser Antagonismus betreffs der toxischen Eigenschaften bestehe derart, dass die beispielsweise durch Tagesharn hervorgerufenen toxischen Erscheinungen gänzlich oder wenigstens theilweise durch Einführung von Abendharn beseitigt werden können. Desshalb solle man — nach Bouchard — bei der Untersuchung der Toxicität des Urins, sich nicht einer Mischung des ganzen während 24 Stunden entleerten Harns bedienen, sondern es müsse gesondert der Abend- und Nachtharn geprüft werden. Denn die Mischung beider Urinarten — so behauptet Bouchard — besitzt nicht eine Giftwirkung von einer Durchschnittskraft zwischen derjenigen beider Bestandtheile, sondern diese Mischung wirkt gewöhnlich schwächer als die Harnportion von geringerer Toxicität.

Aber auch in dieser Hinsicht stimmen die Ergebnisse meiner Versuche mit denjenigen Bouchard's nicht überein. Derartige Versuche habe ich im Allgemeinen nicht viel ausgeführt, da deren Ergebnisse unter einander sehr übereinstimmend ausfielen.

Versuch 1.

a) Kaninchen *A*, 1100 g schwer, erhielt Abendharn *a* von spec. Gew. 1,027. Bei 21 ccm traten Krämpfe, bei 34 ccm Dyspnoëerscheinungen auf. Der Tod erfolgte nach Einführung von 89 ccm. Es entspricht dies . . . . 80,9 ccm auf 1 kg

b) Kaninchen *B*, 840 g Körpergewicht, erhielt Frühharn *b* von spec. Gew. 1,030. Der Tod ohne Krämpfe nach Einführung von 42,5 ccm, was ausmacht . . . . 50,6 ccm auf 1 kg

c) Einem dritten, 900 g schweren Kaninchen wurde eine aus gleichen Theile der Harne *a* und *b* bestehende Mischung injicirt. Der Tod erfolgte nach Einführung von 57 ccm, somit. . 63 ccm auf 1 kg

Versuch 2.

a) Kaninchen *A*, 800 g schwer. Nachtharn spec. Gew. 1,023; letale Dosis betrug 36,5 ccm, somit. . . . . 45,6 ccm auf 1 kg

b) Kaninchen *B*, 850 g. Tagesharn spec. Gew. 1,020; letale Dosis 149,5 ccm . . . . 175,8 ccm auf 1 kg

c) Kaninchen *C*, 740 g. Mischung gleicher Theile der vorher genannten Harne. Letale Dosis 121,5 ccm . . . . 164,2 ccm auf 1 kg

Versuch 3.

Zu diesem Versuche wurden sechs Kaninchen verwendet, von denen je zwei mit derselben Harngattung behandelt wurden, indem ihnen gleichzeitig derselbe Harn mit womöglich gleicher Geschwindigkeit (wie immer sehr langsam) injicirt wurde.

a) Kaninchen *A*, 1250 g schwer, und Kaninchen *A'*, 770 g, erhielten Tagesharn spec. Gew. 1,024. Ersteres starb unter starken Krämpfen nach 104,5 ccm (83,6 ccm auf 1 kg Körpergewicht), das zweite erhielt 78,5 ccm Harn, welche den Tod ebenfalls unter starken Krämpfen herbeiführten (102 ccm auf 1 kg).

b) Den Kaninchen *B*, 900 g, und *B'*, 720 g, wurde intravenös Frühharn spec. Gew. 1,022 eingespritzt; ersteres starb nach 93 ccm Harn (103,3 ccm auf 1 kg) unter sehr starken Krämpfen, *B'* nach 94 ccm (130 ccm auf 1 kg), Krämpfe traten bei letzterem während der Injection einige Mal auf; Tod ohne Krämpfe.

c) Die Kaninchen *C*, 770 g, und *C'*, 820 g, erhielten eine Mischung des Früh- und Abendharns. *C* starb nach Einführung von 68 ccm (90 ccm auf 1 kg), *C'* nach 89 ccm (108 ccm auf 1 kg). Bei beiden waren die Krämpfe sehr ausgesprochen.

Zusammenstellung der Resultate aus dem Versuch 8.

Abendharn	A 83,6 Urot.	Mittel 92,8 Urot.	Mischung	
	A' 102 „		C 90 Urot.	Mittel
Frühharn	B 103,3 „	„ 116,6 „	C' 108 „	99 Urotoxien
	B' 130 „			

Diese angeführten Versuche liefern den Beweis, dass aus der Wirkung einer Mischung von Früh- und Abendharn kein Antagonismus zwischen den einzelnen Bestandtheilen zu ersehen ist. Sie beweisen im Gegentheil, dass die Kraft der Giftwirkung einer Mischung die Mitte zwischen der Toxicität beider Mischbestandtheile einnimmt, dass somit gemischter Harn in seiner Wirkung auf den Organismus sich so verhält, wie eine Mischung zweier Lösungen einer und derselben toxischen Substanz von ungleicher Concentration.

Dieses Resultat wird ganz klar, nachdem die Ursache der toxischen Wirkung des Harns erkannt wird, da diese Ursache hauptsächlich in einer einheitlichen sowohl im Tag- wie auch im Nachtharn vorhandenen Substanz und nicht in zwei von einander verschiedenen Körpern liegt. Thatsächlich haben mich auch diese Versuche über die Wirkung des Tages- und Nachtharns zur Erforschung der Ursache der Toxicität des Harns im Allgemeinen geführt.

Die giftigen Bestandtheile des normalen Harns.

Wie einerseits darüber, dass Harn überhaupt toxische Eigenschaften besitzt, kein Zweifel vorhanden ist und darin alle Autoren übereinstimmen, so ist man im Gegentheil noch gar nicht darüber einig, welchem resp. welchen Bestandtheilen des Urins eigentlich diese giftige Wirkung zugeschrieben werden soll, obwohl seit Jahren diese für die Pathologie hochwichtige Frage vielfach ventilirt und in zahlreichen Arbeiten ihre Lösung angestrebt wurde. Manche dieser Arbeiten behandeln auch ausführlich die einschlägige Literatur, wesshalb ich mich bei der Angabe derselben nur auf das Wichtigste beschränken werde.

Die Meinungen, welche über die Ursache der Giftwirkung des Harns ausgesprochen worden sind, können in drei Gruppen eingetheilt werden: Die einen schreiben die Giftwirkung des Harns einem oder einigen seiner organischen Hauptbestandtheile zu, andere betrachten die anorganischen Salze als die ausschliesslichen oder hauptsächlichen giftigen Substanzen des Urins, andere Theorieen endlich, welche ent-

weder manchen der erwähnten Bestandtheile auch toxische Eigenschaften zugestehen, oder überhaupt leugnen, dass die bereits bekannten im Harn vorkommenden Körper giftwirkend wären, beschuldigen in dieser Hinsicht nur gewisse, bisher noch nicht genau bestimmte Substanzen, Toxine, die sich unter physiologischen und pathologischen Zuständen des Organismus quantitativ oder qualitativ verändern.

Von den bekannten organischen Harnbestandtheilen hat der Harnstoff, welcher in grösster Menge hier vorkommt, am meisten die Aufmerksamkeit der Autoren auf sich gelenkt. Die Meinungen über die giftigen Eigenschaften desselben differirten unter einander sehr. Während die einen, wie Mantegazza, Falck, Fleischer[1]), Limburg, Gréhant[2]), Quinquaud[3]) und Andere auf Grund ihrer Versuche zu dem Schlusse kommen, dass der Harnstoff thatsächlich toxische Eigenschaften besitze, so folgt aus den Untersuchungen Anderer, von denen Richet und Moutard Martin[4]), Feltz und Ritter[5]), Jolyet, Astaschewsky[6]), Bouchard[7]) und Landois[8]) erwähnt seien, dass dieser Körper in mittleren Dosen für den Organismus ganz unschädlich ist. In der That mussten auch jene Autoren, welche dem Harnstoff giftige Eigenschaften zuschreiben, wie aus ihren Versuchen zu ersehen ist, sehr starke Gaben dieser Substanz anwenden, um irgendwelche Störungen oder gar den Tod des Thieres herbeizuführen. Und auch in diesen Fällen versagt oft die Giftwirkung des Harnstoffs, dank ungemein reichlicher Diurese, welche nach Injection dieses Körpers eintritt, und welche rasch die

---

1) Ueber Urämie. Erlanger physikal. med. Sitzungsber. 11. Febr. 1884.

2) Gréhant et Quinquaud, L'urée est un poison, mesure de la toxique dans le sang. Comptes rendus Bd. 99 no. 8.

3) Quinquaud, Note sur la rétention d'urine. Gaz. des hôpitaux no. 98. 1884.

4) Richet et Moutard Martin, Contribution à l'action physiologique de l'urée et des sels amoniacaux. Gaz. hebdom. de méd. et de chir. 1880, no. 12 und C. R. Bd. 92 no. 9.

5) Expérience démotrant, que l'urée pure ne détermine jamais d'accidents convulsifs. Comptes rendus Bd. 86 no. 15.

6) Zur Frage von der Urämie. Petersb. med. Wochenschr. Nr. 27. 1881.

7) loco citato.

8) Ueber die Erregung typischer Krampfanfälle nach Behandlung des centralen Nervensystems mit chemischen Substanzen unter Berücksichtigung der Urämie. Wiener med. Presse Nr. 7—9. 1887.

eingeführte Substanz aus dem Blutkreislaufe entfernt. Aus diesem Grunde mussten die Verfasser, als sie die Giftwirkung des Harnstoffs nachweisen wollten, zu Kunstgriffen Zuflucht nehmen, welche die Aufgabe hatten, den injicirten Harnstoff im Organismus zurückzuhalten, was sie entweder durch Unterbindung des Harnleiters (Gréhaut und Quinquaud[1]), Demjanków[2])), oder durch Entziehung von Wasser (Voit[3])) erzielt haben. Jedenfalls beträgt die Menge des Harnstoffs, welche in der gewöhnlich letal wirkenden Dose des Harns enthalten ist, kaum mehr als 1 g auf 1 Kilo Thiergewicht, und Jeder, der gelegentlich Harnstoff gesunden Kaninchen intravenös eingeführt hat, beobachtete unzweifelhaft, dass eine derartige Dosis keine Störungen hervorruft, wenn die Diurese nicht verhindert wird. Nun braucht man aber bei der Untersuchung der Toxicität des Harns, nach Einspritzung desselben nie seiner diuretischen Wirkung entgegenzuwirken, und immer wird während derartiger Injectionen, die toxisch wirken, eine mehr oder weniger profuse Harnabsonderung bemerkt. Harnstoff allein kann somit in der Giftwirkung des Urins keine hervorragende Rolle spielen.

Von den anderen organischen Harnbestandtheilen haben die Harnsäure und ihre Salze nicht lange die Aufmerksamkeit der Forscher gefesselt (Gigot Suard, Landois[4]), Rosenthal[5])). Die schwere Löslichkeit der harnsauren Salze macht die Einführung grösserer, etwa wirksamer Gaben unmöglich; die geringe Menge derselben im Harn gestattet nicht, ihnen irgend welche Bedeutung für die Giftwirkung des Harns in toto zuzuschreiben. Oxalsäure und noch andere organische Substanzen befinden sich im Urin in noch winzigerer Menge und können desshalb ganz unberücksichtigt bleiben.

Die Entdeckung der thierischen Basen, Ptomaine und Leukomaine, weiterhin der giftigen Eiweisskörper lenkte die Aufmerksamkeit der mit der Harntoxicität sich beschäftigenden Forscher auf sich, und diese Substanzen wurden auch von Manchen als Hauptfactoren, die dem Harn seine toxischen Eigenschaften verleihen, betrachtet. Aber

1) loco citato.
2) Zur Lehre von der Urämie. Petersb. med. Wochenschrift Nr. 28. 1881.
3) Zeitschrift für Biologie Bd. 4.
4) loco citato.
5) Beitrag zur Ergründung des Wesens des Urämie. Inaug.-Dissertation. Erlangen 1887.

die durch betreffende Versuche gelieferten Thatsachen haben, wie unten gezeigt werden wird, diese Annahme nicht bestätigt.

Diese unsicheren und einander widersprechenden Resultate, welche die Nachsuche nach einem eminenten Gifte unter den organischen Bestandtheilen des Harnes geliefert hat, führten nothwendiger Weise zur Prüfung der Eigenschaften der anorganischen Salze dieses Excretes: Es konnte auch schon a priori mit Rücksicht auf den Gehalt des Urins an mineralischen Verbindungen geschlossen werden, dass diese Verbindungen, besonders die Kalisalze, in der toxischen Wirkung des Harnes eine hervorragende Rolle spielen müssen. In der That haben die Versuche von Astaschewsky[1]), Rosenthal[2]) und in letzter Zeit von Stadthagen[3]) erwiesen, dass die toxische Wirkung des Harns hauptsächlich von seinem Gehalte an anorganischen Bestandtheilen abhängt. Diese Versuche waren entweder so ausgeführt, dass einzelne Salze des Urins in's Blut oder in die Peritonealhöhle (Rosenthal) eingeführt wurden, oder es wurde der Harn getrocknet und verascht, die gesammten rückbleibenden mineralischen Bestandtheile in Wasser aufgelöst und ihre physiologische Wirkung am Thierkörper geprüft.

Bouchard kommt aber auf dem Wege theoretischer Betrachtungen zu ganz anderen Schlüssen. Dieser Autor leugnet zwar nicht im Ganzen den Antheil der Kalisalze an der toxischen Wirkung des Harnes, aber er schreibt denselben eben auf Grund jener theoretischen Betrachtungen kaum $^1/_6$ und höchstens $^1/_8$ der Toxicität zu. Mit Recht hebt aber Stadthagen[4]) hervor, dass selbst diese Betrachtungen Bouchard's zum Schlusse führen müssen, dass die Kalisalze eine Hauptrolle in der toxischen Wirkung des Harnes spielen. Denn in 60 ccm menschlichen Harns, welche Dosis im Mittel 1 kg Thier tödtet, sind etwa 0,1—0,125 g K_2O enthalten, was 0,16—0,20 g KCl entspricht, und von letzterer Verbindung wird Chlorkali in einer Menge von 0,18—0,20 als letale Dosis auf 1 kg Thier angenommen.

Da nun keiner der bekannten Harnbestandtheile als eigentlicher Factor der Giftwirkung für die Bouchard'sche Schule gelten kann, so schreibt sie diese Toxicität einigen, wahrscheinlich sieben Sub-

1) loco citato.

2) Rosenthal, Beitrag zur Ergründung des Wesens der Urämie. Inaug.-Dissertation. Erlangen 1887.

3) Zeitschrift für klin. Medicin Bd. 15.

4) loco citato.

stanzen[1]) zu, von denen jede andere physiologische Wirkung entfaltet. So soll eine von denselben Myosis, eine zweite Salivation, eine andere Convulsionen, wieder eine andere Coma etc. hervorrufen. Zu solchem Ergebnisse haben Bouchard's Versuche geführt, in denen er unter Anderem die in Alkohol löslichen von den darin unlöslichen Körpern trennte.

Die geschilderten Gegensätze in den Ansichten betreffs des eigentlichen toxischen Agens im Harn sind bis nun noch nicht gelegt worden, was um so mehr sonderbar erscheint, als die Versuchs-Ergebnisse aller Autoren nicht sehr von einander sich unterscheiden. Alle stimmen darin überein, dass jeder einzelne von den organischen Bestandtheilen geringe oder gar keine toxischen Eigenschaften besitzt, Alle finden, dass die anorganischen Salze des Harns giftig sind; und doch herrscht keine Einigkeit darüber, was im Harn eigentlich tödtlich wirkt.

Nun schien es, angesichts solcher Gegensätze, dass eine Klärung für diese Frage vielleicht durch Bestimmung der Todesursache nach Harninjection, d. h. durch genaue Erforschung der physiologischen Wirkung von Harninjectionen und Vergleichung dieser Wirkung mit derjenigen einiger im Urin enthaltener Substanzen zu finden wäre. Als einen Beweis gegen die Annahme, dass der Tod nach Harninjection die Folge einer Vergiftung durch Kalisalze wäre, wird die Thatsache angeführt, dass der Tod hier durch Lähmung der Athmungscentra eintritt. Die Athmung hört nämlich nach Einführung von Urin in den Kreislauf früher als die Herzthätigkeit auf. Dieses Argument würde von Bedeutung sein, wenn sich die Art der toxischen Wirkung des Gesammtharns von jener der mineralischen Bestandtheile des Harns unterscheiden würde. Wie aber die unten zu schildernden Versuche mit Injectionen von Salzen zeigen werden, ist dies keineswegs der Fall.

Um den Einfluss der Harninjectionen auf den Kreislauf und die Athmung zu untersuchen, habe ich eine neue Serie von Experimenten ausgeführt, in denen ich den Blutdruck in den Arterien, mitunter auch die Athembewegungen registrirte und, während langsam Urin in eine Vene eingeführt wurde, ich das Verhalten des Blutdrucks, des Pulses und der Athmung beobachtete und den Grund der etwa

---

1) Siehe auch: Charrin, Poisons de l'organisme. Poisons de l'urine. Paris 1893.

auftretenden Veränderungen suchte. Bei eintretendem Tode war ich bestrebt, durch Einleitung künstlicher Athmung zu erfahren, ob die Todesursache wirklich eine Lähmung des Athemcentrums war. Es ist kaum nothwendig, genau alle derartige Versuchsprotokolle anzuführen. Die Einigkeit, mit welcher die Erscheinungen bei Harninjectionen auftraten, gestattet, dass nur als Beispiel zwei Versuche angeführt werden; alle anderen hatten einen ganz ähnlichen Verlauf. Vorher werde ich mir aber erlauben, die Resultate aller derartigen Versuche kurz zu schildern:

Sehr langsames Einführen von Harn in die Venen des Kaninchens übt Anfangs keinen oder höchstens einen sehr schwachen Einfluss auf die Blutdruckcurve und auf die Pulsfrequenz aus. Die Athmung wird bald nach den ersten Harnportionen beschleunigt, und diese Beschleunigung wächst bis zu einer gewissen Grenze in dem Maasse an, als grössere Harnmengen in den Kreislauf gelangen. Jedes etwas raschere Einfliessen des Harns in den Blutkreislauf wird sofort an der Blutdruckcurve kenntlich. Es tritt nämlich bald eine Pulsverlangsamung und Sinken des Blutdruckes ein, welchem mitunter ein kurz dauerndes Steigen vorangeht. Wird in diesem Falle die Injection verlangsamt oder ganz sistirt, so weichen die geschilderten Veränderungen bald, und Alles kehrt zur Norm zurück. Widrigenfalls, d. h. wenn auch weiter mit einer grösseren Geschwindigkeit, als sonst, der Urin in die Vene einfliesst, sinkt der Blutdruck in den Arterien immer mehr, das Thier wird unruhig, es treten nicht selten Krämpfe ein, während der Dauer derselben steigt momentan der Arteriendruck, auf einmal hört die Athmung auf, und nur die Unterbrechung der Einspritzung kann noch, und das auch nicht immer, den Eintritt des Todes verschieben.

Ein ähnliches Bild wurde auch während langsamer Einführung des Harnes, aber nach bedeutend grösseren Dosen beobachtet. Trotz sehr langsamer Injection trat ebenfalls nach einer gewissen Zeit Blutdruckerniedrigung mit der charakteristischen Verlangsamung der Herzthätigkeit ein, welche von Zeit zu Zeit aber durch vorübergehende, die hie und da auftretenden Convulsionen begleitende Drucksteigerungen unterbrochen werden. Unter immer bedeutenderem Sinken des Arteriendruckes und Verlangsamung des Pulses tritt der Tod ein.

Die Athmung wird — wie bereits erwähnt — anfänglich beschleunigt, die Respiration wird dabei tiefer, was aus den Athmungs-

curven zu ersehen ist; die Beschleunigung wird immer bedeutender. Erst wenn die Menge des eingeführten Harnes etwa der Hälfte der tödtlichen Gabe entspricht, tritt an Stelle der Beschleunigung eine Rückkehr zur Norm oder Verlangsamung der Respiration ein. Hie und da nur, besonders nach etwa eingetretenen Krämpfen, werden die Respirationen auf kurze Zeit wieder schneller. Am Ende hört die Athmung ein wenig vor den letzten Herzschlägen auf, aber die vor diesem Stadium eingeleitete künstliche Athmung ändert an dem Bilde nichts und beeinflusst kaum den Verlauf der kymographischen Blutdruckcurve. Wurde künstliche Athmung sehr früh, als die Blutdruckcurve erst zu sinken begann, eingeleitet, so stieg zwar der Druck ein wenig, aber nur dann und auch dies nicht immer, wenn gleichzeitig das Einführen des Harnes in die Venen aufhörte. Sonst, d. h. bei weiterer Einspritzung dauerte die etwa erfolgte Drucksteigerung sehr kurz, und trotz künstlicher Athmung kehrte die Blutdruckcurve zur früheren Form zurück, und unter immer selteneren Steigerungen näherte sich dieselbe dem Nullpunkte.

Es war von Interesse, die Ursache der geschilderten Erscheinungen in der Blutdruckcurve, besonders jener Pulsverlangsamung, welche selbst schon für die Herabsetzung des Blutdruckes genügen konnte, zu ergründen. Versuche, welche ich an Thieren mit durchschnittenen beiden Vagis anstellte, gaben ein von dem oben geschilderten in keiner Weise abweichendes Bild. Es beweist dies, dass die Pulsverlangsamung hier nicht als Folge einer Reizung der Hemmungscentra in der Medulla oblongata zu betrachten ist, was auch die Form der Curve bereits vorher sehr wahrscheinlich machte, sondern dass dieselbe lediglich durch peripher im Herzen auftretende Störungen erzeugt wird. Da nun auch bei atropinisirten Thieren dieselbe Verlangsamung der Herzthätigkeit zu beobachten war, so kann keinem Zweifel unterliegen, dass die Wirkung der Harninjectionen auf die Herzthätigkeit einer Schwächung resp. Lähmung des peripheren motorischen Apparates zugeschrieben werden muss. Ob der Harn auf den Herzmuskel selbst, oder die peripheren Nervenendorgane (ausgenommen die Endigungen der herzhemmenden Nerven) wirkt, kann zwar aus diesen Versuchen nicht entschieden werden, doch ist der erstere Fall durch Anologieschlüsse auf Grund unten zu schildernder Versuche sehr wahrscheinlich.

Als Beispiel mögen zwei Versuchsprotokolle folgen:

1) 1140 g schweres Kaninchen. Beide Vagi durchschnitten. Es wurde in die Vena jugularis Harn von specifischem Gewichte 1,025 eingeführt. Blutdruckmessung in der Carotis.

Harnmenge	Blutdruck in mm Hg.		Pulsschläge in 1 Minute	Anmerkung
	Maximum	Minimum		
0 ccm	110	86	264	
3 „	106	92	228	Die Injection relativ rasch.
5 „	115	102	160	

Die Einführung des Harns wird eingestellt; es treten Krämpfe auf und 80 Secunden nach Aufhörung der Einspritzung waren:

	110	92	276	
9 ccm	92	72	252	Langsame Injection
10 „	112	102	156	Atropininjection
	104	90	276	
15 „	116	98	280	Sehr langsame Einspritzung

Es wurden jetzt plötzlich 4 ccm schnell eingeführt; der Blutdruck sank darauf rasch, es traten sehr starke Krämpfe auf, Athmung und Puls hören auf. Künstliche Athmung. Der Blutdruck steigt, Puls verlangsamt:

19 ccm	146	124	108

Die künstliche Athmung wird sistirt, nach 30 Secunden beginnt das Thier selbstständig zu athmen:

	122	102	200
23 ccm	98	73	176
29 „	82	66	168

Auf einmal fällt der Blutdruck auf 0 herab, die Athmung hört nach kurzdauernden Dyspnoëerscheinungen auf, der sehr langsame Puls hört bald gänzlich auf. Künstliche Athmung noch im ersten Augenblick nach Aufhör der selbstständigen Respiration eingeleitet, bleibt ohne Einfluss auf die Blutdruckcurve.

2) 1260 g schweres Kaninchen. Beide Vagi durchschnitten. Es wurde in die Vena jugularis Harn von spec. Gew. 1,027 eingeführt, Blutdruckmessung in der Carotis.

0 ccm	94	90	252	
4 „	86	80	216	Atropininjection
	86	80	250	
28 „	88	80	204	
36 „	84	76	180	
67 „	90	72	180	Langsame Infusion (Krämpfe)

Harnmenge	Blutdruck in mm Hg. Maximum	Minimum	Pulsschläge in 1 Minute	Anmerkung
88 „	60	48	170	
106 „	44	26	88	(Krämpfe)
	Sistirung der Harninjection; nach 2 Minuten			
112 „	46	32	110	

Hiernach sank der Blutdruck bei weiterer langsamer Fortsetzung der Harninfusion bis auf 0; nach Injection von 130 ccm Harn erfolgte der Tod.

Die geschilderten Versuche sprechen bestimmt dafür, dass der Tod nach Harninjection nicht durch Lähmung der Athmung, sondern in Folge der Lähmung der Herzthätigkeit eintritt. Dass das Athmen früher als der Kreislauf stehen bleibt, kann durch die Annahme erklärt werden, dass in Folge des äusserst niedrigen Blutdruckes die Versorgung der Athmungscentra mit arteriellem Blut ungenügend wird. Auf diese Weise werden diese Centra, am Anfange durch Sauerstoff-Mangel gereizt, bald erschöpft und endlich völlig gelähmt. In der That genügt es, Kaninchen kurz vor dem durch Harninjection herbeigeführten Tode genauer zu beobachten, um in den bei diesen Thieren auftretenden Symptomen, eine ungemein grosse Aehnlichkeit mit den gewöhnlichen Dyspnoë-Erscheinungen zu bemerken: Starke Unruhe, tiefe und beschleunigte Respirationen, an denen eine immer grössere Anzahl accessorischer Muskeln Theil nimmt und die von Zeit zu Zeit durch Krämpfe unterbrochen werden, dies ist das Bild, welches der vollkommenen Erschöpfung, Prostration und dem Aufhören der Athmung voranschreitet. Es ist dies ein Bild, wie leicht zu sehen ist, welches beispielsweise bei Verblutung eintritt. Erwägen wir nun noch dazu, dass wir durch Einleiten künstlicher Athmung nicht im Stande sind, das Thier am Leben zu erhalten, auch nicht auf eine relativ kurze Zeit, so sind wir gezwungen anzunehmen, dass der Tod nach Injection von Harn in den Kreislauf beim Kaninchen nicht durch Lähmung der Athmung eintritt, sondern dass diese Lähmung eine secundäre Erscheinung ist, und dass deren nächste Ursache wie auch die Ursache des Todes in der Störung resp. in dem gänzlichen Aufhören der Circulation zu suchen ist.

Die Verlangsamung des Pulses wie auch das Sinken des Blutdruckes, im Allgemeinen die Störung im Kreislaufe findet ihre Erklärung in der Schwächung resp. Lähmung des Herzens entweder des Muskels oder der peripheren nervösen Apparate. Es zeigte dies zur Genüge die Form der Blutdruckcurve, und es braucht nicht dessen

Ursache irgendwo anders, etwa in einer Lähmung der vasomotorischen Centren, gesucht zu werden.

Wenn aber die physiologische Wirkung des Harnes hauptsächlich auf seinem Einfluss auf den Kreislauf beruht, wenn die unmittelbare Todesursache nicht Lähmung der Athmung, sondern Herzlähmung bildet, so fällt eo ipso ein wichtiges Argument gegen die Annahme, dass das Hauptagens in der Giftwirkung des Harnes seine anorganischen Salze bilden.

Diese Annahme wird im Gegentheil durch folgende Versuchsserie, welche ich weiterhin angestellt habe, bestätigt. In diesen Versuchen wurde statt Harn eine Lösung der durch Verbrennung des Harns erhaltenen Asche injicirt. Im Uebrigen war der Verlauf der Versuche derselbe wie in den vorher geschilderten: Registrirung des Blutdruckes, in einigen Fällen Durchschneidung beider Vagi oder dabei auch Atropininjection. Die Asche wurde von Harn erhalten, welcher behufs Vergleichung der Wirkung selbst direct zum Versuch an einem anderen Thier gedient hatte und wurde die Asche in soviel Wasser aufgelöst als vor der Veraschung Harn vorhanden war. Diese Versuche ergaben ganz übereinstimmende Resultate mit denen nach Harninjection. Wir führen ein Beispiel an:

Einem 1650 g schweren Kaninchen mit durchschnittenen Vagis wurden in die Halsvene in 200 ccm H_2O aufgelöste Harnasche, welche aus 200 ccm Harn von specifischem Gewichte 1,027 erhalten wurde, injicirt.

Menge der Lösung in ccm	Blutdruck in mm Hg.		Pulsschläge in 1 Minute	Anmerkung
	Maximum	Minimum		
0	120	108	128	
3	116	106	126	
11	114	103	130	
		Atropininjection		
	110	98	250	
12	106	92	130	
24	112	98	120	
36	110	100	120	
62	126	100	120	
88	96	42	100	Krämpfe
91	84	62	130	

Der Blutdruck in den Arterien, sinkt, steigt dagegen bedeutend in den Venen, die Athmung hört nach Dyspnoëerscheinungen auf. Künstliche Athmung wird eingeleitet.

Menge der Lösung in ccm	Blutdruck in mm Hg. Maximum	Minimum	Pulsschläge in 1 Minute	Anmerkung
	30	24	130	

Nach einem Augenblick athmet das Thier selbstständig.

	84	80	190	

Der Blutdruck fällt rasch auf 0 herab. Die Athmung hört auf. Die künstliche Athmung bleibt ohne Einfluss.

Dieser Versuch, welcher mit sechs anderen einen ganz gleichen Verlauf hat, zeigt, dass die Wirkung der Lösung der mineralischen Harnbestandtheile mit der Wirkung des Harns selbst identisch ist. In beiden Fällen tritt ein gleiches Sinken des Blutdruckes mit charakteristischer Pulsverlangsamung auf, welche zu völligem Stillstand des Kreislaufes führen; auch hier hat auf die Veränderungen in der Blutdruckcurve, die in Folge der Harninjection eintreten, weder Durchschneidung beider Vagi noch Atropineinspritzung irgend welchen Einfluss. Auch hier endlich hört die Athmung früher als die Herzschläge auf, und die Einleitung künstlicher Athmung vermag das Thier nicht beim Leben zu erhalten. Der Tod tritt somit bei Harneinspritzung wie bei Injection von Lösung der anorganischen Salze desselben durch Herzlähmung ein.

Erwägen wir nun, dass unter den anorganischen Salzen des Harnes einzig nur die Kalisalze eine der geschilderten ähnliche Wirkung auf das Herz entfalten, was ich auch durch ähnliche Versuche mit Einspritzung 0,4 procentiger KCl-Lösung zu bestätigen Gelegenheit hatte, so müssen wir gezwungen zum Schlusse kommen, dass das Hauptgift des Harnes seine Kaliverbindungen bilden. Die Vergleichung der letalen Gaben der Aschenlösung mit denjenigen des Harnes selbst, von welchem die Asche stammte, bekräftigt ebenfalls sehr diese Behauptung, was bereits durch die oben citirten Autoren hervorgehoben worden ist. Als Beispiel führe ich folgende zwei Versuche an:

1) 35 ccm Harn von specifischem Gewicht 1,024 tödten ein 730 g schweres Kaninchen, dies entspricht, auf 1 kg Thier berechnet, 48 ccm.

Die letale Dosis einer Aschelösung desselben Harnes betrug für ein 900 g schweres Kaninchen 39 ccm, was 43,3 ccm auf 1 kg Kaninchen entspricht.

2) Ein 930 g schweres Kaninchen stirbt nach Injection von 60 ccm Harnes von specifischem Gewicht 1,020. Es entspricht dies 64,5 ccm auf 1 kg Thier. Eine aus demselben Harn erhaltene Aschelösung tödtet ein 980 g schweres Kaninchen nach Injection von 72 ccm dieser Lösung, somit nach Einspritzung von 73,5 ccm auf 1 kg Kaninchen.

Es folgt aus diesen Zahlen, dass zwischen der Toxicität des Harnes und derjenigen der Lösung seiner anorganischen Salze ein enger Zusammenhang besteht. Der Umstand, dass die Aschelösung in manchen Fällen (wie beispielsweise in dem ersten der hier angegebenen Versuche) stärker giftig wirkte als der Harn selbst, welcher doch ausser den Mineralsalzen noch andere als Gifte betrachtete Substanzen enthielt, findet in der Thatsache seine Erklärung, dass der Harn selbst dank einigen darin enthaltenen Körpern, hauptsächlich dank der Gegenwart von Harnstoff in hohem Grade die Function der Nieren steigert. Dadurch, durch rasche Harnabsonderung wird auch ein Theil der eingeführten giftig wirkenden mineralischen Salze aus dem Organismus rasch ausgeschieden. Thatsächlich habe ich auch nie nach Einführung von aus Harn hergestellter Aschelösung in den Blutkreislauf eine so starke Diurese, wie sie nach Harninjection aufzutreten pflegt, beobachtet.

Um auch den Einfluss zu untersuchen, welchen die Absonderung von Harn durch das Versuchsthier auf das Eintreten der Vergiftungserscheinungen ausübt, wurde in einem Theile der Versuche, von denen unten die Rede sein wird, der vom Kaninchen abgeschiedene Harn aufgefangen. Zu diesem Zwecke wurde auf dem Kaninchenbrett unter das Kaninchen ein entsprechendes in eine Rinne ausgebogenes Blechstück gelegt, über welches der ganze abgeschiedene Harn in ein untergestelltes Gefäss herabfloss. Am Schlusse des Versuches wurde die Harnmenge gemessen. In wie fern die verstärkte Diurese des Kaninchens dazu beiträgt, dass die Wirkung des eingeführten Harnes schwächer ausfällt, werden wir später Gelegenheit haben auseinander zu setzen.

Merkwürdig erscheint der Wechsel der Ansichten. Der Harnstoff, welcher so lange Zeit und von so vielen Autoren als giftiger Körper betrachtet wurde, welchem fast alle jene Symptome, welche nach Harnretention auftreten, zugeschrieben wurden, dieser Körper erweist sich gegenwärtig nicht nur als nicht giftig, sondern im Gegentheil als ein heilvolles Mittel, welches — bei normal functionirenden Nieren und Herzen — zur rascheren Fortschaffung anderer Giftstoffe aus dem Organismus verhilft.

Es ist zwar möglich, dass auch Harnstoff, wenn er in grösserer Menge im Organismus angesammelt wird und die Entfernung desselben aus dem Körper verhindert ist, schädlich wirken kann, wie

dies aus den bekannten Versuchen Voit's[1]) zu ersehen ist. In diesem Sinne können wir der Ansicht Stadthagen's[2]) beipflichten, welcher annimmt, dass, wenn in Folge der herzlähmenden Wirkung der Kalisalze nach Harninjection der Kreislauf schwächer wird und die Harnabsonderung stockt, sich im Körper ausser diesen giftigen Salzen noch Harnstoff anhäuft, welcher zur Giftwirkung des Harnes beitragen kann.

Charrin, welcher diese Aussicht Stadthagens bespricht, drückt sich darüber sehr skeptisch aus und wirft diesem Autor vor: Il y a là affirmations, suppositions, plutôt que demonstrations[3]). Dieser Vorwurf trifft aber in erster Reihe diejenigen Autoren, welche den Kalisalzen nicht die Hauptrolle in der Giftwirkung des Harnes zugestehen wollen, trotzdem ihre eigenen Versuche dafür sprechen. So hat z. B. Charrin selbst gemeinschaftlich mit Roger[4]) gefunden, dass Kaninchenharn stark toxische und zugleich sehr erregende (er ruft heftige Krämpfe hervor) Giftwirkung besitzt, und dass diese Giftwirkung auf die Hälfte geschwächt wird, wenn Kaninchen statt Pflanzenfutter Milch als Nahrung bekommen, wodurch selbstredend die Zufuhr von Kalium beschränkt wird.

Uebrigens darf den kleinen Unterschieden in der Intensität der Giftwirkung des Harnes selbst und seiner Asche keine grosse Bedeutung zugeschrieben werden. Ich habe in meinen Versuchen über die Toxicität des Harnes oft Gelegenheit gehabt mich zu überzeugen, dass solche Unterschiede wirklich bedeutungslos sind. Da wo wir die Wirkung einer toxischen Substanz an zwei verschiedenen Individuen, wenn auch derselben Gattung, vergleichen müssen, kann auch nicht erwartet werden, dass die Wirkung mit einer solchen mechanischen Regelmässigkeit auftreten wird, dass eine immer gleiche Menge der toxischen Substanz auf eine Einheit Körpergewichts des Versuchsthieres ausfiele. Um so weniger ist dies zu erwarten, bei der Vergleichung zweier so verschiedenartiger Substanzen wie Harn und seine Aschelösung, oder auch bei Anwendung von blossem Harn, dessen Gehalt so sehr complicirt ist. Individuelle Verschiedenheiten des Thieres spielen auch hier eine nicht geringe Rolle. In der That überzeugte ich mich oft, dass ein und derselbe Harn mit derselben

1) Zeitschrift für Biologie Bd. 4.

2) l. c.

3) Charrin, Poisons de l'organisme. Poisons de l'urine pag. 74.

4) Ibidem S. 116 und 117.

Geschwindigkeit zwei Kaninchen eingespritzt, bei jedem derselben eine andere Intensität der Wirkung entfaltete.

Hier einige Belege:

	Harn specifisches Gewicht	Gewicht des Kaninchens	Letale Dosis	Letale Dosis auf 1 kg Kaninchen berechnet	Verhältniss zwischen den Gaben in beiden Fällen
1)	1,023	770 g 820 „	68 ccm 89 „	90 ccm 108 „	100 : 120
2)	1,024	1250 „ 770 „	104,5 „ 78,5 „	83,6 „ 102 „	100 : 121
3)	1,022	720 „ 900 „	94 „ 93 „	130 „ 103,3 „	100 : 126
4)	1,024	1260 „ 830 „	159 „ 55 „	126 „ 66 „	100 : 191

Diese oft bedeutenden Differenzen (in letztem Beispiele 100 : 191) zwischen der Reaction zweier Thiere gleicher Gattung auf einen und denselben Harn finden ihre Erklärung nicht nur in der Individualität der Thiere, sondern auch in den Eigenschaften der toxischen Substanz selbst. Es wurde bereits hervorgehoben, dass die Wirkung der eigentlichen toxischen Substanz, das heisst der Kaliverbindungen, von anderen Bestandtheilen, von denen wir am besten den Harnstoff mit seinen diuretischen Eigenschaften kennen, beeinflusst wird. Eine je stärkere Diurese der Harnstoff herbeiführt, um so geringer wird die Giftwirkung der Kalisalze ausfallen. Davon also, ob im entsprechenden Falle die Harnabsonderung grösser oder kleiner ausfällt, hängt auch die toxische Kraft des Harnes ab, daher kann auch bei zwei Kaninchen, denen wir Harn einspritzen, der toxische Effect je nach der Diurese verschieden sein.

Es ist auch geradezu befremdend, wie angesichts einer derartigen Unbeständigkeit der Versuchsresultate dazu gestrebt werden konnte, mit einer gewissen Präcision (wie dies auch versucht wurde) die Toxicität des Harnes zu bestimmen, deren Schwankungen unter dem Einflusse verschiedener Factoren zu messen etc., den lebenden Organismus — das Kaninchen — als Maassinstrument zu benützen, welches mit einer ungemein exacten Genauigkeit die Menge der durch den menschlichen Körper ausgeschiedenen Gifte angeben sollte. Noch mehr befremdend ist der Umstand, dass in den betreffenden Versuchen, obgleich hie und da nach giftigen Substanzen gespäht wurde, der zur Injection verwendete Harn nicht genauer chemisch untersucht wurde.

Tabelle III.

1	2	3	4	5	6 Gehalt des Harnes						7	8	9
					a) an festen Bestandtheilen		b) an Asche		c) an K_2O				
O. z.	Körpergewicht des Kaninchens	Specifisches Gewicht des Harnes	Letale Dosis des Harnes	Letale Dosis auf 1 kg Kaninchen	α) %	β) In der letalen Dosis für 1 kg Kaninchen	α) %	β) In der letalen Dosis für 1 kg Kaninchen	α) %	β) In der letalen Dosis für 1 kg Kaninchen	Die durch das Thier während des Versuches entleerte Harnmenge	Dauer der Injection	Bemerkung
	g		ccm	ccm		g		g		g	ccm	Min.	
I	1600	1,034	100	62,5	6,501	4,063	1,139	0,7119	0,3146	0,1965	?	45	In I wurde die durch das Thier entleerte Harnmenge nicht gemessen.
II	1550	1,026	65	41,9	4,999	2,095	1,668	0,6989	0,4114	0,1724	30	30	
III	1010	1,025	137	135	4,634	6,256	1,262	1,7037	0,2152	0,2905	26	43	
IV	1240	1,024	69	55,6	4,390	2,441	1,765	0,9813	0,4101	0,2280	12	26	
V	1150	1,019	128	111,3	2,323	2,585	1,064	1,1842	0,1561	0,1737	10	52	
VI	1540	1,024	170	110	4,254	4,679	1,817	1,9987	0,2494	0,2743	54	48	
VII	980	1,024	47	48	3,545	1,7016	1,604	0,7699	0,3491	0,1676	8	17	Derselbe Harn wie Nr. VIII.
VIII	980	1,024	56,5	57,6	3,545	2,0419	1,604	0,9239	0,3491	0,2011	20	30	Derselbe Harn wie Nr. VII.
				52,8		1,8717		0,8469		0,1884			Mittel aus Nr. VII und VIII.
IX	570	1,034	26	46	6,086	2,7996	1,571	0,7227	0,3112	0,1432	5	10	
X	950	1,030	185	194	4,734	9,1840	2,332	4,5241	0,1815	0,3521	48	43	
XI	750	1.024	85	113	3,083	3,4838	1,424	1,6091	0,1999	0,2258	10	24	
XII	1070	1,028	72	67,3	3,853	2,5931	1,365	0,9186	0,2738	0,1843	0	24	
XIII	1000	1,024	87	87	3,944	3,4313	1,621	1,4103	0,2645	0,2301	20	31	
XIV	1120	1,019	168	150	2,591	3,8865	1,349	2,0235	0,1653	0,2469	100	31	
XV	1020	1,020	111	109	2,952	3,2177	1,615	1,7513	0,2078	0,2307	10	25	

Eine neue Serie von Versuchen, welche ich in dieser Richtung ausgeführt habe, lieferte interessante Ergebnisse, die in der Tabelle III auf Seite 587 dargestellt sind.

In diesen Versuchen wurde in dem zur Einspritzung verwendeten Harn sein Gehalt an Trockensubstanz, Aschenbestandtheilen und Kalisalzen genau bestimmt und procentisch berechnet. Tabelle III enthält in entsprechenden Rubriken: das Körpergewicht des Kaninchens, die letale Dosis des Harnes, die letale Dosis auf 1 Kilo Thiergewicht berechnet, und ausserdem den Procentgehalt an festem Rückstand, Asche und K_2O, auch die Menge dieser Substanzen, welche in der für 1 Kilo Thier letalen Dosis enthalten war. Ausserdem wurde in diesen Versuchen auch die Menge Harn, welche das Thier während der Dauer des Versuches abgesondert hat, notirt.

Die Ergebnisse dieser Versuche, was aus der Tabelle leicht zu ersehen ist, beweisen auf das Bestimmteste, dass die Intensität der Giftwirkung des Harnes von seinem Gehalte an Kaliverbindungen abhängt. Nicht jener Harn war toxischer, welcher im Allgemeinen an festen Substanzen oder an anorganischen Salzen überhaupt reicher war, sondern derjenige wirkte stärker toxisch, welcher mehr Kalisalze enthielt. So z. B. sehen wir, dass der Harn Nr. I mehr Trockensubstanz enthielt als der Harn Nr. II (6,5 : 5), und doch war die tödtliche Gabe des ersteren grösser als des letzteren (62 : 42), er war aber ärmer an K_2O (0,31 : 0,41). Noch deutlicher tritt dieser Unterschied zwischen II und IV einerseits und III, VI und X andrerseits hervor. Obwohl die in allen diesen Harnen enthaltene Menge fester Substanzen unter einander wenig differirte (4,25—4,99 %), so betrug doch der Werth der Urotoxie, das heisst die zur Tödtung eines Kilogramm Thier nothwendige Harnmenge in den 2 ersten Fällen 42 und 55 ccm, in den 3 letzteren 135, 110 und 194. Diese Unterschiede, wie wir sehen, waren hier sehr bedeutend. In einem geradezu verkehrtem Verhältniss zu diesen giftigen Dosen stehen aber die Zahlen, welche den Procentgehalt an K_2O ausdrücken. Zur besseren Veranschaulichung sollen die entsprechenden Zahlen hier noch einmal wiedergegeben werden:

Harn	Letale Dosis Harn auf 1 kg	Procentgehalt an K_2O
II	41,9	0,4114
IV	55,6	0,4101
VI	110	0,2743
III	135	0,2152
X	194	0,1815

In einem ähnlichen Verhältnisse wie die Kaliverbindungen — aber mit zahlreichen Ausnahmen — stehen noch die Zahlen, welche den Aschengehalt ausdrücken.

Am interessantesten stellt sich die Rubrik 6 c β, die anzeigt, wie viel K_2O in jedem Versuche 1 kg Thier erhalten hat. Die hier befindlichen Zahlen stehen einander ziemlich nahe. Wir sehen nämlich, dass unter 15 Fällen, die für 1 kg Thier tödtliche Dosis K_4O, 10 Mal zwischen 0,17 und 0,27 g schwankte. Dass dieselbe 4 Mal nicht fern von dieser Grenze stand und nur 1 Mal (Versuch X) den Werth von 0,35 g erreichte, also doppelt so gross war als die minimale tödtliche Gabe. Bedeutend grössere Unterschiede in dieser Richtung zeigen die den Aschengehalt (Rubrik 6 b β), noch grössere die den festen Rückstand (Rubrik 6 a β) darstellenden Zahlen. So z. B. enthielten die tödtlich wirkenden Harnmengen VII, II, VI, III und X 1,70 g, 2,09 g, 3,22 g, 4,68 g, 6,26 g und 9,18 g Trockensubstanz und 0,77 g, 0,70 g, 1,75 g, 2,00 g, 1,70 g und 4,52 g Asche.

Es folgt daraus unzweideutig, dass zwischen der toxischen Wirkung des Harnes und seinem Gehalte an K-Verbindungen solch ein enger Zusammenhang vorhanden ist, dass als eigentliches toxisches Agens entweder diese Verbindungen selbst, oder ein in gleichem Verhältniss wie diese im Harn enthaltener Körper, angenommen werden muss. Die erste Annahme ist um so plausibler, als die physiologische Wirkung des injicirten Harnes derjenigen eingeführter Kalisalze sehr ähnlich ist, und dass bisher im Harn irgend andere toxische Substanzen nicht sicher nachgewiesen worden sind.

Noch ein Umstand, welcher aus der Tabelle III hervorgeht, verdient hervorgehoben zu werden. Betrachten wir nämlich näher die Menge Harn, welchen jedes Versuchsthier entleert hat (Rubrik 7), so finden wir hier eine theilweise Erklärung der Schwankungen in der letalen Dosis K_2O (Rubrik 6 c β). Wir sehen hier nämlich, wenn auch nicht ohne Ausnahme, dass in denjenigen Fällen, in denen der Tod des Kaninchens bereits nach einer kleineren Dosis K_2O eingetreten ist, die Menge des vom Kaninchen entleerten Harnes kleiner war als in anderen Fällen, in denen das Thier mehr Kalisalze ertragen hat. Diese Erscheinung ist nicht ohne Bedeutung, und sie weist darauf hin, dass, wie bereits angedeutet wurde, ausser den individuellen Unterschieden zwischen den Versuchsthieren, noch die Schnelligkeit, mit welcher das Thier sich des eingeführten Giftes entledigt, dazu beiträgt, dass die Resultate der Untersuchung der

Toxicität des Harnes so unsicher und mannigfaltig ausfallen. Es zeigt dies auch die Thatsache, welche ich bemerkt habe, und welche auch aus der Tabelle III zu ersehen ist, dass die Gesammtmenge des giftigen *K*, welche nöthig war das Thier zu tödten, dort grösser ist, wo der Procentgehalt desselben kleiner war, wo also mehr Wasser ins Blut eingeführt werden musste, um die toxische Dosis zu erreichen. Denn die stärkere Wasserzufuhr verursachte auch eine ausgiebigere Harnabsonderung. Ein eclatantes Beispiel in dieser Beziehung sehen wir in dem Seite 564 angeführten VII. Versuche. Es ist in jenem Versuche sehr auffallend, dass das 1 kg schwere Thier eine ungemein grosse Harnmenge nämlich 368 ccm vertragen konnte. Diese Harnmenge übertraf fast 7 Mal seine ganze Blutmenge. Wenn wir auch dieses Verhalten dem Umstand zuschreiben wollen, dass der Harn wenig feste Substanzen enthielt (sein specifisches Gewicht betrug kaum 1,015), so bleibt doch die höchst befremdende Thatsache bestehen, dass eine so kolossale Flüssigkeitsmenge dem Kaninchen eingeführt werden konnte, während doch bekanntlich Thiere kaum mehr als eine 3fache Vermehrung des Wassers im Blutkreislauf vertragen. Diese Thatsache kann nur darin ihre Erklärung finden, dass dank der ungemein starken diuretischen Wirkung des dem Organismus einverleibten Harnes, welche Wirkung diejenige einer gleichen Menge Wassers um Vieles übersteigt, das Thier während des Versuches selbst einen beträchtlichen Theil des eingeführten Wassers wieder abgab.

Die Resultate der bisher geschilderten Untersuchungen und Beobachtungen lassen sich folgender Weise zusammenfassen:

1. Der Früh- und Abendharn unterscheiden sich unter einander weder durch ihre Eigenschaft Krämpfe hervor zu rufen noch durch ihre Einwirkung auf die Erregbarkeit der Hirnrinde derart, dass die etwa auftretenden Unterschiede uns zur Annahme der toxischen Schlaftheorie berechtigen sollten. Es lässt sich dementsprechend kein Antagonismus zwischen der physiologischen Wirkung des Nacht- und Tagharns nachweisen.

2. Die in Folge von Harninjection so oft eintretenden Convulsionen sind nicht der Ausdruck einer Erregung der Hirnrinde, denn sie treten auch bei Thieren auf, denen die Hemisphären abgetragen worden sind.

Diese Convulsionen sind höchst wahrscheinlich ein Symptom der Dypnoë, welche durch Störung des Kreislaufs im verlängerten Marke hervorgerufen wird.

3. Das wichtigste giftige Agens des Harnes bilden seine Kalisalze. Die Wirkung des Harnes beruht demnach auch in erster Linie darauf, dass er das Herz lähmt; der Einfluss auf die Athmung, die ebenfalls sistirt wird, ist secundär.

Es lässt sich aber nicht leugnen, dass, wie auch Stadthagen, gestützt auf Lepine's, Schiffer's und eigene Untersuchungen, hervorhebt, ein Theil der toxischen Wirkung des Harnes irgend einem oder einigen der organischen Bestandtheile zugeschrieben werden muss. (Lepine und Stadthagen glauben diesen Bestandtheilen etwa 15 % der Giftwirkung zuschreiben zu dürfen.) Es zeigen dies nämlich die Versuche Bouchard's mit alkoholischen Harnextracten, welche sehr wenig ganz indifferente anorganische Salze enthielten und in einer 1—1½ Liter Harn entsprechenden Menge 1 kg Kaninchen tödteten (etwa 20—30 Mal weniger giftig als Harn). Schiffer[1]) fand ebenfalls, dass ein derartiges Extract von 1—1½ Liter Harn Kaninchen tödtet und auch sehr energisch Frösche angreift, indem es der Wirkung von Guanidin ähnliche Symptome herbeiführt. Die Nachforschung nach dieser oder einer ähnlichen Substanz blieb resultatlos. Schiffer und Bouchard betrachten das im Harn wirkende Gift, eigentlich die Gifte, als Toxine (Urotoxine), welche im Verdauungscanal als Fäulnissproduct entstehen und von da aus ins Blut und in den Harn gelangen. Doch gelang es Stadthagen trotz sorgfältiger Untersuchung weder giftige Alkaloide, noch eine toxische Albumose, welche nach Gautier den giftig wirkenden Bestandtheil des Harnes bildet, im Harn zu finden. Die einzigen basischen Körper, welche Stadthagen vermittelst der Brieger'schen Methode aus dem Harn isoliren konnte, waren: Kreatinin, Ammoniak und Spuren von Trimethylamin. Ersteres wirkt auf normale Thiere nicht giftig, sondern erst nach Exstirpation der Nieren (Goltz und Bogoslawski nach Stadthagen); die Menge des im Harn vorhandenen Ammoniaks und Trimethylamins ist wiederum viel zu klein, um überhaupt in Betracht genommen zu werden.

---

1) Ueber eine toxische Substanz im Harn. Deutsche medic. Wochenschrift Nr. 16. 1883.

Es soll noch erwähnt werden, das Alkaloide im Harn nachgewiesen haben wollen: Lepine und Guerin[1]), obgleich diese Autoren dieselben nicht rein erhalten haben, sondern über ihre Gegenwart aus der Wirkung ätherischer Harnextracte schliessen, ferner Pouchet[2]), dessen Resultate jedoch von Bouchard[3]) und Villier's[4]) angezweifelt werden. Godet[5]), welcher unter Gautier's Leitung basische Körper im Harn suchte, kam zum Schlusse, dass nur Spuren dieses Körpers in physiologischem Harn vorhanden sind, während ihrer mehr im pathologischem Urin zu finden sei.

Wir sehen somit aus allem dem, dass unter allen Bestandtheilen des normalen Harnes (nicht ausgenommen diejenigen, welche erst in neuerer Zeit als mehr oder weniger beständige Bestandtheile nachgewiesen wurden) einzig und allein nur die Kalisalze als solche betrachtet werden dürfen, deren toxische Wirkung gar keinem Zweifel unterliegt, und die quantitativ auch im Harn in einem solchen Verhältniss vorhanden sind, dass wir ohne Zögern denselben den grössten, fast den einzigen Antheil in der toxischen Wirkung des Harnes zuschreiben können.

Der gelieferte Nachweis von dem hervorragenden Antheil der Kalisalze in der toxischen Wirkung des Harnes setzt den Werth der durch Bouchard und seine Schüler mit solcher anscheinend grossen Genauigkeit durchgeführten Versuche über die Toxicität des Harnes sehr bedeutend herab, umso mehr, als in diesen Versuchen der Gehalt des Harnes an Kaliverbindungen nicht bestimmt worden ist. Es ist auch nicht zu hoffen, dass die Lehre von der Toxicität des Harnes in jener Form, welche ihr die vielfach erwähnte Schule gegeben hat, die aus der Intensität der Giftwirkung des Harnes, bestimmt vermittelst Einführung des Harnes in den Kreislauf von Kaninchen, auf die Menge der im menschlichen Körper producirten Toxine zu schliessen und daraus auch Folgerungen über Veränderungen im Stoffwechsel auszusprechen sich berechtigt fühlt, in Zukunft irgend welche Bedeutung erlangen sollte.

Solch eine complicirte Mischung verschiedener Substanzen, wie sie der Harn darstellt, kann keineswegs als einheitlicher giftiger

1) Sur la présence d'alcaloïdes toxiques dans l'urine. Revue de méd. 1884.
2) Citirt nach Godet.
3) Citirt nach Godet.
4) Citirt nach Godet.
5) Godet, Contribution à l'étude des alcaloïdes de l'urine. Thèse des Paris. 1889.

Körper betrachtet werden, dessen toxische Dosis mit gewünschter Exactheit bestimmt werden könnte. Eine toxische Einheit „Urotoxie“ in toto anzunehmen, ohne auf den veränderlichen Gehalt der einzelnen Bestandtheile Rücksicht zu nehmen von einem urotoxischen Quotienten zu sprechen, welcher das Maass der durch die Gewichtseinheit des menschlichen Organismus producirten Gifte angeben sollte, zumal die Gifte selbst nicht bestimmt werden, sondern ihre Stärke vermittelst eines Thierorganismus — eines mehr als unbeständigen Maasses — im Allgemeinen gemessen wird, gehört sicher nicht zu jenen exacten Versuchsmethoden, deren Einführung die moderne Biologie mit immer grösserem Erfolg anstrebt.

Bouchard selbst gibt zwar an, dass die toxische Kraft des Urins in ziemlich weiten Grenzen schwankt, aber aus seinen Arbeiten gewinnt man den Eindruck, dass das Abweichen vom Mittel selten vorkommt, und dass am häufigsten circa 45 ccm Harn (Schwankungen zwischen 30 und 60 ccm) eine Urotoxie bilden. Meine Versuche aber führten mich zu einem ganz anderen Resultate. Ich fand nämlich, dass die Toxicität verschiedener Harne sehr verschieden ist, so dass ein Mittel zu bestimmen kaum möglich ist. Folgende Uebersicht gibt einen Begriff davon:

Unter 56 Versuchen waren:

Urotoxie	=	11—16	ccm	Harn	3	Mal	(5,36 %)		
„	=	38—40	„	„	3	„	(5,36 %)	46,43 % (38—68)	57,14 % (38—95)
„	=	42—51	„	„	11	„	(19,64 %)		
„	=	55—68	„	„	12	„	(21,43 %)		
„	=	81—95	„	„	9	„	(16,07 %)		
„	=	98—115	„	„	8	„	(14,28 %)		
„	=	126—136	„	„	5	„	(8,93 %)		
„	=	150—194	„	„	4	„	(7,14 %)		
„	=	368	„	„	1	„	(1,78 %)		

Diese Zahlen lehren, dass zwar jene Fälle die häufigsten sind, in denen die sogenannte toxische Einheit des Harnes zwischen 42 und 95 ccm schwankt, es trat dies aber nur in 57 % aller Fälle ein, und die Grenzen, in denen selbst diese Werthe der Toxicität schwanken (42—95), gehen weit auseinander, da die höchste Zahl mehr als zweimal so gross ist als die niedrigste. Wollten wir nur jene Zahlen in Rechnung nehmen, welche der von Bouchard angenommenen Urotoxie am nächsten standen, so finden wir, dass die Zahl jener Fälle, in denen die Urotoxie in unseren Versuchen an-

nähernd in diesen Grenzen schwankten (38—68 ccm), kaum mehr als 46 % aller Fälle betrug und auch hier ist der Unterschied zwischen dem kleinsten und grössten Werthe ziemlich bedeutend, da letzterer wieder beinahe 2 Mal grösser ist als der erstere. Fügen wir noch dazu die bereits erwähnte, gar nicht selten vorkommende Thatsache, dass ein und derselbe Harn, zweien Kaninchen eingespritzt, jedes derselben mit anderer Kraft angreift, so haben wir einen Grund mehr, die Exactheit aller Versuche über die Toxicität des Harnes, betrachtet als eine Methode zur Messung der vom menschlichen Körper ausgeschiedenen giftigen Stoffwechselproducte, zu bezweifeln und die Methode selbst zu verwerfen.

Dieselbe Meinung über den Werth dieser Methode in Bezug auf Hundeharn haben bereits Godard und Slosse[1]) ausgesprochen. Diese Autoren verglichen die Toxicität des Harnes von thyreoidektomirten Hunden mit der Toxicität des Harnes von normalen Hunden und sind bei Gelegenheit dieser Versuche zur Ueberzeugung gelangt, dass die Resultate, welche man mit der Harneinführung in einen thierischen Organismus erzielt, sehr unsicher sind und zu keiner irgend welcher Schlussfolgerung berechtigen. Auf Grund von Versuchen, in denen die letzterwähnten Autoren bei einer Reihe von Thieren die letale Dosis von eingespritztem Strychnin bestimmt haben, gelangten sie zum Schlusse, dass nicht einmal bei Einspritzung einer so bekannten und so sicher wirkenden Substanz, wie Strychnin, der thierische Körper als Maass der angewendeten Giftmenge benutzt werden dürfe.

Wenn ich der Lehre von der Toxicität des Harnes (in der oben angegebenen Form) jeden wissenschaftlichen Werth abspreche, so muss doch hinzugefügt werden, dass dabei nur von physiologischem, von einem normalen Organismus ausgeschiedenem Harn die Rede ist. Da in normalem Harn nur die Kalisalze mit Sicherheit als giftige Substanzen angesehen werden dürfen, wird es unbedingt viel wissenschaftlicher sein, wenn überhaupt ein Grund vorhanden sein sollte, die Toxicität des Harnes zu bestimmen, wenn man bei den Versuchen nicht den Harn selbst, diese complicirte Mischung verschiedener Substanzen, deren gegenseitiger Einfluss nicht erkannt

---

1) Récherches sur la toxicité urinaire des chiens éthyroïdés. Journ. de la soc. roy. des sciences méd. et nat. de Bruxelles. 1893. Nach einem Referate im Centralblatt für Physiologie. 1893.

werden kann, sondern die eigentliche active Substanz anwenden wird, oder mit anderen Worten, wenn man den Gehalt des Harnes an Kalisalzen bestimmen wird.

In die Frage, ob die Untersuchung der Toxicität des Harnes vielleicht in pathologischen Fällen eine Bedeutung habe, soll hier nicht näher eingegangen werden. Aprioristisch erscheint es wahrscheinlich, dass im Verlaufe von pathologischen Processen, welche mit Störungen des normalen Stoffwechsels verbunden sind, und in welchen andere Producte als im physiologischen Zustande entstehen, diese pathologischen Producte giftige Eigenschaften besitzen und nach Uebergang derselben in den Harn diesem Excrete eine toxische Wirkung verleihen können, welche von derjenigen des normalen Harnes quantitativ und qualitatv verschieden sein kann. Auch ist es nicht ausgeschlossen, vielmehr wahrscheinlich, dass im Verlaufe von infectiösen Krankheiten, die durch die betreffenden Mikroorganismen ausgeschiedenen oder unter ihrem Einflusse im Körper entstehenden Gifte, wenn dieselben im Harn erscheinen, in ähnlicher Weise seine Toxicität beeinflussen können. Diese Frage, welche vielfach bearbeitet worden ist und bereits eine beträchtliche Literatur geschaffen hat, soll, wie erwähnt, an diesem Orte nicht weiter berührt werden.

(Aus dem chem. Laboratorium des physiol. Instituts der Universität Breslau.)

Weitere Beobachtungen über die oxydativen Leistungen thierischer Gewebe.

Von

Dr. **W. Spitzer,**
Breslau - Karlsbad (i. B.).

I. Ueber die Oxydation der arsenigen Säure durch Gewebsextracte und Zellkernsubstanzen.

In meiner letzten Arbeit „Ueber die Bedeutung gewisser Nucleoproteïde für die oxydative Leistung der Zelle“ [1]) hatte ich den Nachweis erbracht, dass die oxydirende Kraft thierischer Gewebe und Gewebsauszüge im wesentlichen auf der Wirkung bestimmter wohlcharakterisirter Verbindungen, der am Aufbau des Zellkerns sich betheiligenden Nucleoproteïde, beruht. Mit Rücksicht auf ihren constanten, nicht unerheblichen Gehalt an organisch gebundenem Eisen hatte ich unter Zugrundelegung der bekannten Erfahrungen mit anorganischen eisenhaltigen Sauerstoffüberträgern die Vermuthung ausgesprochen, dass die oxydative Function jener Zellkernsubstanzen auf eine eigenartige Bindung des in ihnen enthaltenen, Sauerstoff jeweils aufnehmenden und abstossenden Eisens zurückzuführen sei.

Um in das Wesen dieses Vorgangs weiter einzudringen, erschien es wünschenswerth, noch weitere Oxydationsprocesse kennen zu lernen, in denen der Mechanismus der Oxydation ein relativ durchsichtiger ist.

Zu der Zahl der früher geprüften kommt nunmehr noch die Oxydation der arsenigen Säure zu Arsensäure.

Die ersten und bis zur Zeit vereinzelt gebliebenen Mittheilungen hierüber liegen von Binz und Schulz vor, die zum Theil gemeinsam in einer Reihe von Arbeiten [2]) den Nachweis führten, dass thierische

1) Pflüger's Archiv Bd. 67.

2) Archiv f. exper. Pathologie u. Therapie Bd. 11, 13, 14, 15, 36.

Gewebe, wie die Schleimhaut des Schweinemagens, das Pankreas, Gehirn, der Inhalt abgebundener Darmschlingen, die Milz, am intensivsten die Leber, schliesslich von pflanzlichen Geweben u. A. die Blätter des Lattichs (Lactuca sativa) die Fähigkeit haben, aus arsenigsaurem Alkali bei Körpertemperatur eine nicht unbeträchtliche Menge Arsensäure zu bilden.

Andererseits haben die gleichen Organe auch die Eigenschaft, Arsensäure zu arseniger Säure zu reduciren.

Während die Oxydationswirkung der Gewebe durch Erhitzen vernichtet wird, wird das Reductionsvermögen durch Erhitzen nicht beeinflusst, tritt im Gegentheil wegen der gleichzeitigen Vernichtung der Oxydationskraft noch deutlicher hervor.

Die jeweils während mehrstündiger Digestion gebildeten Arsensäuremengen betrugen bei Zusatz von 500 mg arseniger Säure zum Brei einer Kaninchenleber 46,5 — 51 — 61,5 mg, der Milz 30,8 mg, des Dünndarms 7,6 mg. Gekochte Leber lieferte nur 2,2 mg Arsensäure.

In einer anderen Versuchsreihe entstanden unter der Einwirkung von je 100 g: Blut 4 mg, Magenschleimhaut 7—9 mg, Pankreas 8 mg, Gehirn 10 mg, Leber 20—30 mg Arsensäure.

Diese interessanten, von Binz zum Theil schon vor längerer Zeit mitgetheilten Thatsachen haben vielleicht deswegen nicht die ihnen gebührende Beachtung gefunden, weil Binz aus ihnen zu weit gehende Schlüsse über die Art der toxischen Wirkung des Arsens auf die lebende Zelle gezogen hat.

Die Beobachtungen von Binz beziehen sich ausdrücklich nur auf die Organe und Gewebe in toto, d. h. auf den Brei, welcher durch Aufschwemmen der zerriebenen Organe in Wasser oder schwacher Soda-Lösung erhalten wurde.

Mir schien es der Mühe werth zu untersuchen, ob die wässrigen Auszüge der Organe und die in ihnen enthaltenen Nucleoproteïde in derselben Weise auf die arsenige Säure einwirken.

Eine grössere Reihe von Versuchen, die an der Leber des Hundes, des Rindes und des Schweines ausgeführt wurden, zeigten mir, dass zunächst die wässrigen, zellfreien Auszüge der zerkleinerten Organe, wenn sie bei Körpertemperatur und ausreichender Durchlüftung mit arseniger Säure digerirt wurden, in nicht unerheblichem Maasse Arsensäure zu bilden vermochten.

Eine rein wässrige, schwach alkalische Lösung von As_2O_3 lieferte unter genau den gleichen Bedingungen keine nennenswerthe Spur

As_2O_5. Auch Binz findet unter diesen Verhältnissen nur 0,6 mg As_2O_5.

Zum Nachweis der Arsensäure verfuhr ich fast in derselben Weise wie Binz, jedoch mit dem Unterschiede, dass ich die Arsensäure nicht durch Dialyse, sondern durch sorgfältiges Enteiweissen von den Albuminaten trennte. Ich erhielt dadurch bei guter Ausführung annähernd absolute Werthe, während in das Dialysat stets nur ein Theil der gebildeten Arsensäure überging.

Versuchsbeispiele.

I. 500 g Rindsleber werden mit 800 ccm Chloroformwasser, welches 1/8 % Soda enthielt, versetzt und unter häufigen Umrühren bei Zimmertemperatur durch 24 Stunden stehen gelassen. Es werden dann 500 ccm Flüssigkeit abgehoben, mit 400,6 mg wasserfreier As_2O_3 (mit Hülfe von Soda in 50 ccm Wasser bis zu schwach aecal. Reaction gelöst) versetzt. Des Gemisch wird durch 6 Stunden unter continuirlicher Luftdurchleitung bei 37°, nachher noch weitere 12 Stunden bei gleicher Temperatur auf dem Wasserbade belassen. Hierauf wird bei einer für Lacmus gerade schwach sauren Reaction unter Zusatz verdünnter Essigsäure und Aufkochen coagulirt. Die Coagula wurden mit heissem, schwach angesauertem Wasser ausgezogen und diese Procedur so lange wiederholt, bis das mit HCl versetzte Waschwasser bei Einleitung von H_2S keinen Niederschlag von As_2S_3 mehr ergab. Die vereinigten Filtrate wurden nunmehr mit 10 ccm Salmiak und 40 ccm des üblichen Magnesiagemisches versetzt und mehrere Tage bei niederer Temperatur belassen. Der abgesetzte Niederschlag wurde auf kleinem Filter gesammelt, der Filterrückstand mit ammoniakal. Wasser so lange gewaschen, bis die Chloride geschwunden waren und das Waschwasser keinen Gehalt an arseniger Säure mehr aufwies, und dann in HCl gelöst.

Die Lösung ergab bei Einwirkung von H_2S in der Kälte keine Spur eines Niederschlages; ein solcher ($As_2O_3 + S$) fiel hingegen bei einer Temperatur von 70—80° C. allmälig aus. Er wurde auf dem Filter gesammelt, in Ammoniak gelöst, dann mit HCl wieder ausgefällt, auf ein gewogenes Filter gebracht und schliesslich mit CS_2 so lange gewaschen, bis sich kein Schwefel mehr extrahiren liess. Der mitgetheilte Versuch ergab bei diesem Vorgehen

72,4 mg As_2S_3.
Es wurden somit gebildet . . . . . . 67,7 mg As_2O_5,
und es waren oxydirt worden . . . . . 57,9 mg As_2O_3.

II. In einem gleichen Versuche, in welchem 165 g entblutete Hundeleber verwendet wurden, lieferte selbst der zweite wässrige Auszug (450 ccm) noch, versetzt mit 519 mg As_2O_3, nach 6stündiger Luftdurchleitung etc.,

26,2 mg As_2S_3.
Es waren somit gebildet . . . . 24,5 mg As_2O_5,
oxydirt worden . . . . 21,5 mg As_2O_3.

III. Bei Verwendung der gleichen Menge Hundeleber, die mit 100 ccm 1/2 % Sodalösung verrührt worden war, wurden keine erheblich grösseren Arsensäuremengen erzielt, wie auch aus einem Vergleich mit den Versuchen von Binz hervorgeht.

Es lieferten 165 g Hundeleberbrei:

	37,8 mg As_2S_3.
Somit gebildet	35,1 mg As_2O_5
aus	30,2 mg As_2O_3.

Wurden die Gewebsauszüge unter sonst gleichen Bedingungen nur in offenen Bechergläsern (ohne dass Luft durchgesaugt wurde) auf dem Wasserbade stehen gelassen, dann war die Ausbeute geringer.

IV. So ergaben die wässrigen Auszüge der sonst stark wirksamen Leber des Rindes (vgl. Versuch I) bei 8 stündiger Digestion auf dem Wasserbade in 2 Versuchen nur 13, bez. 9 mg As_2S_3 = 12 bez. 8,4 mg As_2O_5.

Die aus der wässrigen oder schwach alkalischen Auszügen durch verdünnte Säuren erzielten Präcipitate, die wir als Nucleoproteïde charakterisirt hatten, zeigten ebenfalls oxydative Einwirkung auf die arsenige Säure, aber im Grossen und Ganzen nicht so intensiv wie die ursprünglichen Wasserauszüge.

V. 625 g Rindsleber werden mit 2 1/2 Liter Chloroformwasser übergossen und 24 Stunden stehen gelassen. Es werden durch Decantiren 1600 ccm Flüssigkeit gewonnen, die mit 1/10 Normal-H_2SO_4 ausgefällt worden; gebraucht wurden hierzu 47 ccm.

Der gesammelte Niederschlag wird unter Zufügung von 47 ccm 1/10 Normalsoda in 1 Liter Wasser gelöst. Die Lösung wird mit 500 mg As_2O_3 (in 50 ccm schwach alkal. Wasser gelöst) und durch 24 Stunden auf dem Wasserbade bei 50° C. und Luftdurchleitung digerirt. Durch Zusatz von 47 ccm der 1/10 H_2SO_4-Lösung wird das Nucleoproteïd wieder ausgefällt, wiederholt gewaschen und das Filtrat des Weiteren, wie oben angegeben, behandelt.

Es wurden erhalten	19,4 mg As_2S_3,
somit gebildet	18,2 mg As_2O_5
aus	15,7 mg As_2O_3

VI. In einem anderen Versuche, in welchem ein Nucleoproteïd aus 150 g Hundeleber, das zu seiner Ausfällung 20 ccm 1/10 Normal-H_2SO_4 gebraucht hatte, auf 477 mg As_2O_3 einwirkte, wurden nach 24 Stunden erhalten

	15,3 mg As_2S_3.
Somit gebildet	14,3 mg As_2O_5
aus	12,2 mg As_2O_3.

VII. Zu einem weiteren Versuche diente ein Nucleoproteïd aus 500 g Schweineleber, das zur Ausfällung 58 ccm 1/10 Normal-H_2SO_4 verbraucht hatte. Es wirkte auf 464 mg As_2O_3 ein.

Erhalten wurden	14,0 mg As_2S_3.
Somit waren gebildet	12,6 mg As_2O_5
aus	11,5 mg As_2O_3.

Durch reichliche Zugabe überschüssigen Chloroforms, sowie durch Erhitzen wurde die oxydative Kraft der Nucleoproteïde sowohl wie der wässrigen Gewebsauszüge erheblich geschädigt; durch 20 Minuten langes Erhitzen auf 80—90° z. B. wurde sie jedoch nicht völlig vernichtet.

VIII. Der wässrige Auszug einer Hundeleber in Gesammtvolumen von 900 ccm wurde in 2 gleiche Theile getheilt, von denen der eine frisch, der andere nach 20 Minuten langem Erhitzen auf 80° mit je 519 mg As_2O_3 versetzt und durch 6 Stunden mit Luftdurchleitung auf dem Wasserbade behandelt wurde.

a) Der frisch behandelte Extract lieferte 26,2 mg As_2S_3 = 24,5 mg As_2O_5,
b) der erhitzte dagegen . . . . . . 13,0 mg As_2S_3 = 12,2 mg As_2O_5.

IX. In einem analogen Versuche wird der zweite wässrige Auszug einer Rindsleber (900 ccm) mit 14,4 ccm 1/10 Normal-HCl zur Ausfällung des Nucleoproteïds versetzt. Der Niederschlag wird nach dem Absetzen durch Decantiren gesammelt und in der entsprechenden Menge Normalsoda gelöst und auf das ursprüngliche Volumen aufgefällt. Die eine Hälfte wird frisch, die andere nach 20 Minuten langem Erhitzen auf 80—90° nach Zusatz von je 260 mg As_2O_3 18 Stunden auf dem Wasserbade bei 37° und Luftdurchleitung behandelt.

a) Die frisch behandelte Hälfte ergibt. . . . . 14 mg As_2S_3.
Es wurden somit gebildet . . . . 13 mg As_2O_5.
b) Die vorher erhitzte Hälfte liefert noch . 8 mg As_2S_3 = 7,4 mg As_2O_5.

Um zu untersuchen, ob ausser den von uns beschriebenen Nucleoproteïden in den Gewebsauszügen etwa noch andere Substanzen enthalten sind, welche die Oxydation der arsenigen Säure vermitteln, prüfte ich die nach Ausfällung verbleibenden Filtrate. Es zeigte sich, dass dieselben in allerdings geringem Umfange Arsensäure noch bildeten; so wurden mit 500 ccm Filtrat eines Leberauszuges noch 8 mg As_2S_3 = 7,4 mg As_2O_5 erzielt. Gelegentlich treten beim Digeriren der Filtrate bei 45° C. noch spontane Niederschläge auf, die eine schwache Wirkung auf H_2O_2 ausübten, während die Filtrate selbst unwirksam waren. Es erscheint hiernach, als ob die geringe Wirkung der Filtrate noch von der Anwesenheit nicht völlig ausgefällter Nucleoproteïde herrührte.

Aus den mitgetheilten Versuchen ergibt sich, dass die wässrigen unter Chloroformzusatz erhaltenen Orgenextracte eine nicht geringere

Oxydationswirkung bei der Digestion mit As_2O_3 zeigten als der Organbrei in den Versuchen von Binz und Schulz.

Die aus dem wässrigen Extracte durch Zusatz einer bestimmten Menge Säure ausgefällten Nucleoproteïde besitzen, wenn sie in der äquivalenten Menge kohlensauren Natriums gelöst wurden, eine bedeutend schwächere Oxydationswirkung als die ursprünglichen Extracte. Zum Theil könnte dies darauf beruhen, dass die Ausfällung der Nucleoproteïde keine ganz vollkommene ist, zum Theil aber auch darauf, dass die ursprüngliche salzartige Bindung derselben in den Gewebsauszügen für die O-Uebertragung geeigneter ist als die künstlich durch Zusatz von Alkalien bewirkte.

Das Wesentlichste bildet die Thatsache, dass die Nucleoproteïde der arsenigen Säure gegenüber genau so oxydativ wirken, wie dies nach meinen früheren Versuchen gegenüber einer Reihe anderer Verbindungen bewiesen ist.

Mit der Frage, in wie weit wässrige Gewebsextracte und Zellkernproducte Arsensäure zu reduciren vermögen, ob dieser Vorgang durch O-Abschluss noch intensiver gestaltet werden kann, habe ich mich nicht befasst. Es erscheint nach den Erfahrungen an den Farbstoffsynthesen beziehentlich der Reduction gebildeter Farbstoffe durch Nucleoproteïde a priori höchst wahrscheinlich, dass die reducirende Kraft der Gewebe gegenüber der Arsensäure auch in ihren wässrigen Auszügen und den in ihnen erzielbaren Proteïdfällungen wiederzufinden ist.

II. Bildet sich Harnstoff bei der Digestion von Leberextracten mit Ammoniaksalzen?

Meine Versuche hatten bisher nur ganz allgemein bewiesen, dass die Nucleoproteïde ausserhalb des Körpers die Oxydation gewisser Stoffe vermitteln können. Es erschien wünschenswerth nachzusehen, ob sich mit Hülfe von Gewebsextracten (der Leber z. B.) nicht ganz bestimmte, für das Leben höchst wichtige Oxydationsvorgänge erzielen liessen. Nun war es Hofmeister[1]) gelungen, durch Einwirkung von Kaliumpermanganat auf Amidosäuren, Fettsäuren und Oxysäuren derselben, Weinsäure, Citronensäure u. dgl. in ammoniakalischer Lösung bei Körpertemperatur relativ grössere Mengen

1) Archiv f. experim. Pathologie Bd. 37.

von Harnstoff zu bilden. Er nimmt desshalb an, dass im lebenden Organismus Harnstoff in analoger Weise durch Oxydation entstehen kann. In der überlebenden Leber hatte Schröder[1]) bei Durchblutungsversuchen erhebliche Harnstoffbildung eintreten sehen, wenn dem die Leber durchströmenden Blute Ammoniaksalze zugesetzt worden waren. Erinnert man sich der Thatsache, dass die ersten Versuche von Jaquet und Schmiedeberg über die Oxydation des Benzylalcohols und Salicylaldehyds ebenfalls an künstlich durchbluteten Organen vorgenommen worden waren, weil man damals noch glaubte, dass für diese „postmortalen" Oxydationen der histologische Zusammenhang des Organs von Bedeutung sei, dass dagegen dieselben Processe von ihnen später auch mit den Gewebsauszügen erhalten wurden, so konnte man annehmen, dass auch die Harnstoffbildung aus Ammoniaksalzen vermuthlich durch das zerkleinerte, reichlich mit Luft geschüttelte Organ, beziehentlich dessen Auszüge sich gerade so erzielen lassen könnte, wie unter gleichen Bedingungen die Oxydation des Salicylaldehyds.

Diese Annahme erwies sich jedoch als irrig.

Es gelang mir in zahlreichen in der mehrfach bereits angegebenen Art angestellten und variirten Versuchen weder bei Verwendung von Gewebsauszügen noch der Leber selbst nach Zusatz von ameisensaurem, kohlensaurem oder weinsaurem Ammoniak oder bei Verwendung von Leucin in ammoniakalischer Lösung Harnstoff zu erzielen, mochte ich mit oder ohne Zusatz von Blut die Digestion vor sich gehen lassen. Die Darstellung des Harnstoffs führte ich genau nach der von Schröder[1]) angegebenen Methode (Fällung mit Mercurinitrat etc.) durch, auf die ich nur zu verweisen brauche. Der Harnstoff wurde dann als nicht gebildet angesehen, wenn nach dreimaliger Lösung der erzielten Rückstände in absolutem Alkohol und völliger Entfernung aller Verunreinigungen durch Zusatz von $^1/_2$ Volumen Essigäther weder die charakteristischen Krystalle desselben, noch auch seine salpetersaure Verbindung erhalten wurde.

Will man hiernach auf Grund der Hofmeister'schen Versuche die Vorstellung einer oxydativen Bildung des Harnstoffs im lebenden Organismus, beziehentlich in den Versuchen Schröder's an dem durchbluteten und intacten Organ beibehalten, dann müsste man annehmen, dass jene relativ einfache, für die Oxydation des

---

1) Archiv f. experim. Pathologie Bd. 15.

Salicylaldehyds z. B. ausreichende Kraft für die oxydative Harnstoffbildung nicht ausreicht.

Die Versuche Schröder's sind ganz an die Seite zu setzen der von Bunge und Schmiedeberg in der überlebenden durchbluteten Niere erzielten Synthese der Hippursäure aus Glykocoll und Benzoësäure, welche ebenfalls in dem zerkleinerten, mit Luft reichlich geschüttelten und digerirten Organ nicht zu Stande kommt. In beiden Fällen handelt es sich um eine Leistung, die an das directe „Ueberleben" des Organs und seinen histologischen Zusammenhang geknüpft ist, im Gegensatz zu den von uns durch bestimmte chemische Verbindungen ausserhalb der überlebenden Zelle erzielten (oxydativen) Processen.

Nach Beendigung dieser Versuche erhielt ich Kenntniss von einer Mittheilung von Chassavant und Richet[1]), welche in gleicher Weise ebenfalls vergeblich Harnstoffbildung aus weinsaurem Ammoniak vermittelst wässriger Leberauszüge zu erzielen versucht hatten. Dieselben gaben jedoch an, eine solche aus harnsaurem Alkali erreicht zu haben, welches selbst bei der Digestion mit Chloroformwasserauszügen der Leber abnahm. In früheren Versuchen hatte Richet (cfr. Centralblatt f. Physiologie IX, 171) eine Zunahme der Harnstoffbildung bei der Digestion des alleinigen Wasserextractes der Leber gefunden. Ich habe in mehreren Versuchen aus harnsaurem Alkali mit Hülfe sonst gut oxydativ wirksamer Leberauszüge keine Spur Harnstoff erzielen können, während ich zugesetzte Harnstoffmengen fast quantitativ wiederfand, ein Beweis, dass die Methodik ausreichend war. Jedenfalls bedürfen die erwähnten Befunde nochmaliger Nachprüfung; auffallend ist an ihnen auch, dass erhebliche Harnstoffmengen überhaupt erst innerhalb der zweiten 24 Stunden auftreten, dass die in den ersten 24 Stunden gebildeten Mengen relativ sehr gering sind; während bei allen übrigen durch Gewebe oder Fermente bedingten Umsetzungen gerade in den ersten Stunden die Intensität der Einwirkung am grössten ist.

1) Comptes rendus de la Société de Biologie no. 26 p. 743. 1897.

Notiz, betreffend Kaiser's Contractionstheorie.

Von

Dr. **F. Schenck.**

Nur ungern greife ich zur Feder, um noch einmal den zwischen K. Kaiser und mir schon mehrfach discutirten Streitpunkt zu beleuchten. Ich kann es aber nicht vermeiden, da ich glaube zeigen zu können, dass auch in seiner neuesten Veröffentlichung (Zeitschr. f. Biol. Bd 36) es Kaiser nicht gelungen ist, nachzuweisen, dass in seinen Versuchen keine Schleuderung des Zeichenhebels stattgefunden hat.

Kaiser's Betrachtung a. a. O. S. 374 ist im Principe ganz richtig, sofern wohl angenommen werden darf, dass unter den von ihm gesetzten Versuchsbedingungen der Schwingungspunkt des Hebels — falls derselbe frei, d. h. nur unter dem Einfluss der Schwere fliegt — in einer Zeit t bis zu der Höhe $\frac{1}{2} gt^2$ ansteigen muss, wie ein frei aufwärts geworfener schwerer Körper, wenn man von den Reibungswiderständen absehen darf, was wohl nach den von Kaiser hiefür beigebrachten Versuchen zulässig ist. Wenn man mit Kaiser unter t die Zeit vom Beginn bis zum Gipfel der Zuckung versteht, so gilt diese Betrachtung für den Fall, dass der Hebel schon von Beginn der Zuckung an frei fliegt. Fliegt nun aber der Hebel nicht von Anfang an frei, sondern wird er zunächst durch einen daran ziehenden Muskel von der Geschwindigkeit Null an beschleunigt, so kann die ganze Steighöhe des Schwingungspunktes niemals den Betrag von $\frac{1}{2} gt^2$ erreichen, geschweige ihn, wie Kaiser behauptet, übertreffen. In der That müsste ja der Schwingungspunkt, um die Höhe $\frac{1}{2} gt^2$ zu erreichen, mit einer Geschwindigkeit gt zu steigen anfangen. Eine so grosse Geschwindigkeit kommt aber in dem ganzen wirklichen Zuckungsverlauf gar nicht vor. Die grösste wirk-

lich vorkommende Geschwindigkeit, die im Wendepunkt des Anstiegs der Zuckungscurve erreicht wird, ist nämlich — vorausgesetzt, dass von hier ab der Hebel frei fliegt — offenbar gleich $g\vartheta$, wo unter ϑ diejenige Zeit zu verstehen ist, die vom Wendepunkt bis zum Gipfel verstreicht, die also kleiner als t ist. Mit dieser Geschwindigkeit fliegt dann der Schwingungspunkt frei weiter und erreicht, vom Wendepunkt an gerechnet, die Höhe $\frac{1}{2} g\vartheta^2$. Die wirkliche Erhebung des Schwingungspunkts ist nun die Summe dieser Höhe des freien Fluges und der Höhe vom Anfange bis zum Wendepunkt. Sollte nun diese Summe $= \frac{1}{2} gt^2$ oder gar grösser sein, so müsste der zweite Summand mindestens $\frac{1}{2} gt^2 - \frac{1}{2} g\vartheta^2$ sein, und der Schwingungspunkt müsste diese Strecke zurücklegen in der Zeit $t - \vartheta$. Er müsste sich also in dieser Zeit, selbst wenn seine Geschwindigkeit während derselben constant wäre, mit einer Geschwindigkeit von mindestens:

$$\frac{\frac{1}{2} gt^2 - \frac{1}{2} g\vartheta^2}{t - \vartheta} = \frac{gt + g\vartheta}{2}$$

bewegen, die offenbar grösser als $g\vartheta$ ist. Die Geschwindigkeit $g\vartheta$ erreicht er aber factisch erst am Ende der Zeit $(t - \vartheta)$ im Wendepunkt als Maximum. Wenn also die Schleuderung erst im Verlaufe der Zuckung beginnt, muss die Erhebung des Schwingungspunkts nothwendig kleiner sein als $\frac{1}{2} gt^2$, wie das Kaiser auch gefunden hat.

Will man die Fallgesetze zur Beurtheilung der Hebelbewegung heranziehen, so darf dies erst geschehen vom Wendepunkte oder von einem noch späteren Punkte ab, weil erst von da an Hebelschleuderung überhaupt möglich ist. In Kaiser's Curvenbeispiel Fig. 4 liegt der Wendepunkt 3 mm über die Abscissenachse, ϑ beträgt hier 0,031 Secunden, und es ergibt sich für die Erhebung des Schwingungspunktes des Hebels vom Wendepunkt ab: nach dem Fallgesetz berechnet: 4,71 mm; beobachtet 4,47 mm. Die Differenz von 0,24 mm fällt in die Grenzen der Beobachtungsfehler und ist zu einem grossen Theile auch noch durch die Reibung der Schreibfeder bedingt.

Für zwei spätere Punkte, für welche die in die Rechnung einzusetzenden Zeiten 0,024 und 0,018 Secunden betrugen, erhielt ich:

1) berechnet: 2,82 mm, beobachtet: 2,74 mm
2) „ 1,59 „ „ 1,47 „

Auch hier besteht genügende Uebereinstimmung.

Diese Uebereinstimmung lehrt doch offenbar, dass in Kaiser's Versuchen der Hebel geschleudert wurde.

Was die Versuche Kaiser's mit photographischer Registrirung der Verkürzung anlangt, sò ist für sie auch nicht der Nachweis erbracht, dass die Hebelschleuderung oder das „Wackeln“ des Muskels ausgeschlossen war.

Auf Kaiser's Einwände gegen die Arbeit meines Schülers Franz Müller komme ich bei anderer Gelegenheit zurück.

Ueber intermittirende Netzhautreizung bei bewegtem Auge.

Von

Dr. Guillery, Oberstabsarzt in Köln.

(Hierzu Tafel IV.)

Die Erscheinungen, welche bei intermittirender Netzhautreizung auftreten, hängen, wie wir wissen, im Wesentlichen davon ab, wie lange der Lichteindruck unverändert andauert, sowie von der Schnelligkeit, mit welcher die einzelnen Reize erfolgen. Ist die letztere so gross, dass der zweite Reiz schon eintritt, ehe die Nachwirkung des ersten sich verändert, so erhalten wir einen continuirlichen Lichteindruck, im anderen Falle können wir die einzelnen Reize getrennt unterscheiden und haben die Empfindung einer schnell wechselnden Helligkeit, welche wir als Flimmern bezeichnen. Dies ändert sich, sobald das Auge bewegt wird. Wenn ein leuchtender Körper bei geradeaus gerichtetem Blicke sich an dem Auge schnell vorbeibewegt, so sehen wir bekanntlich eine leuchtende Linie, welche dem Object folgt. Ebenso zeigt sich eine leuchtende Linie, wenn bei unbeweglichem Objecte das Auge seine Stellung verändert, und entsteht der Eindruck einer der Blickwendung sich entgegen bewegenden Lichtlinie. Dreht sich z. B. die Blicklinie von links her nach dem Objecte, so leuchtet an der rechten Seite desselben eine Linie auf, welche von hier aus in der Richtung auf das Object sich zu verkürzen scheint und, je nach der Dauer des Nachbildes, verschwindet, wenn die Blicklinie das Object erreicht. Geht die Blickrichtung vom Objecte aus nach links, so scheint sich von demselben nach rechts hin ein leuchtender Streifen fortzubewegen, welcher bei passender Versuchsanordnung ebenfalls nicht viel länger sichtbar bleibt, als die Bewegung dauert. Beim Blicke nach rechts gilt natürlich mut. mut. dasselbe, da immer der nämliche Eindruck entsteht, wie wenn bei ruhendem Auge die betreffenden Netzhautstellen erregt werden.

Leuchtet nun das Object nicht gleichmässig, sondern mit Unterbrechungen, so erscheint auch die glänzende Linie dementsprechend unterbrochen.

Dauert der Reiz hierbei eine gewisse Zeit an, so wird die Gestalt jedes einzelnen leuchtenden Punktes in der Weise verändert, dass er zu einer der Bewegungsrichtung parallelen Linie verlängert wird, da er ja hinter einander verschiedene Stellen der sich bewegenden Netzhaut erregt; nach Aufhören des Reizes wird diese Linie unterbrochen bis zu dem Momente, wo die Intermission beendigt ist u. s. f. Dauert die Erregung nur so kurze Zeit, dass während derselben eine nennenswerthe Bewegung nicht stattfinden kann, so bleibt die Gestalt des erregenden Objectes unverändert, und wir erhalten eine Reihe von Eindrücken, deren jeder dem Bilde jenes Objectes entspricht. So erscheinen z. B. die Funken eines Inductionsapparates bei Bewegungen des Auges als eine Reihe von auf einander folgenden Punkten, deren Anzahl abhängt von der Schnelligkeit der ausgeführten Bewegung, sowie von der Zahl der in der Zeiteinheit überspringenden Funken. Dieser ganze Eindruck ist von sehr kurzer Dauer, da ja die Nachwirkung eines solchen Lichtreizes nur einen kleinen Bruchtheil einer Secunde beträgt, wenn das Auge bewegt wird.

Damit diese Erscheinungen überhaupt zur Wahrnehmung kommen, muss der erregende Reiz eine gewisse Intensität besitzen. Lässt man z. B. eine Scheibe mit schwarz und weissen Sectoren hinter einem schwarzen Schirme rotiren, welcher in der Mitte einen Ausschnitt von beliebiger Form hat, so erscheint der in diesem Ausschnitte sichtbare Theil der Scheibe bei centraler Fixation in einem gewissen Grau. Bei Bewegung des Auges entsteht keine Vermischung der weissen und schwarzen Sectoren, sondern dieselben erregen abwechselnd die verschiedenen Netzhautstellen, welche sich ihnen darbieten, vorausgesetzt, dass die Bewegung des Auges im Vergleiche zu derjenigen der Scheibe nicht so langsam erfolgt, dass doch noch verschiedene Phasen der Errregung ein und dieselbe Stelle treffen. Theoretisch müsste unter geeigneten Versuchsbedingungen der Ausschnitt bei Bewegungen des Auges vervielfältigt erscheinen und sich aufhellen, da eben keine Mischung entsteht, sondern abwechselnd Weiss und Schwarz die Netzhaut trifft. Dies könnte indessen nur dann mit voller Deutlichkeit sich zeigen, wenn die Helligkeitsempfindung an den verschiedenen Netzhautstellen, welche der Reiz

erregt, die gleiche wäre, während sie thatsächlich vom Centrum nach der Peripherie abnimmt. Abgesehen davon muss der Reiz aber an sich auch intensiv genug sein, um ein deutliches Nachbild hervorzurufen, und ist es auch schwierig, den Ausgleich zwischen Augen- und Scheibenbewegung genau in der Weise herbeizuführen, dass jede Vermischung der Eindrücke unterbleibt. Es wäre dazu erforderlich, dass die helle Phase nur gerade so lange dauert, dass die gereizte Netzhautstelle sich schon fortbewegt hat, wenn Schwarz eintritt. Der Versuch wird sich also bei verschiedener Grösse der Sectoren und verschiedener Bewegungsgeschwindigkeit von Auge und Scheibe ungleich gestalten.

Von der Grösse der Sectoren muss nun noch verschiedenes Andere abhängen. Zunächst die Zahl der bei der Bewegung des Auges auftretenden Einzelerregungen. Je kleiner der helle Sector ist, und je öfter er bei einer Umdrehung an dem Ausschnitte des Schirmes vorbeikommt, um so grösser wird die Zahl der Einzelerregungen sein, welche bei der Bewegung des Auges die Netzhaut treffen. In diesem Falle ist also zu erwarten, dass die Figur des Ausschnittes je nach der Schnelligkeit der Scheibenbewegung sich mehrfach in einer längeren Reihe hinter einander wiederholt, und können die einzelnen Bilder wegen der kurzen Dauer der Erregung auch wenig oder gar nicht in der Richtung der Bewegung verzogen sein. Sind die Sectoren aber breiter, so wird die Häufigkeit des Wechsels von Weiss und Schwarz bei derselben Schnelligkeit von Augen- und Scheibenbewegung um so geringer sein. Die Vervielfachung der Figur beschränkt sich daher auf eine kleinere Zahl, und da ausserdem dieselbe Erregungsphase wegen ihrer längeren Dauer eine grössere Strecke der Netzhaut trifft, erscheint jedes einzelne Bild in der Richtung der Bewegung verbreitert.

Sehen wir nun zu, in wie weit diese theoretischen Ableitungen durch den praktischen Versuch bestätigt werden.

Ich bediente mich einer durch ein Uhrwerk getriebenen, im vollen Tageslichte senkrecht stehenden Scheibe, welche 17—18 Umdrehungen in der Secunde machte und sich, vom Beobachter aus gesehen, drehte wie der Zeiger einer Uhr. Auf derselben befanden sich je vier gleich grosse weisse und schwarze Sectoren, so dass jeder von ihnen den 8. Theil der Scheibe, also 45° einnahm. Vor dieser Scheibe stand ein schwarzer Schirm mit quadratischem Ausschnitte von 5 mm Seite. Wurde die Scheibe in Rotation versetzt, so er-

schien der im Ausschnitte sichtbare Theil derselben hellgrau. Bei einer Bewegung des Auges in horizontaler Richtung liess sich nun von einer Aufhellung des Netzhautbildes nichts bemerken. Auch die Vervielfältigung der Bilder war sehr undeutlich, man hatte eigentlich nur den Eindruck, dass an der der Bewegung entgegengesetzten Seite des Objectes etwas Helles im Gesichtsfelde erschien, welches die Form eines länglichen Streifens hatte, im Uebrigen aber einen sehr unbestimmten Eindruck machte. War die Augenbewegung sehr energisch und ausgiebig, so dass sie nach beiden Richtungen weit über das Object hinausging (bis etwa zu 40° beiderseits), so sah man allerdings die Oeffnung mehrfach, doch blieben die Bilder so lichtschwach und von so kurzer Dauer, dass Einzelheiten nicht deutlich zu unterscheiden waren. Wurden nun die weissen Sectoren im Verhältnisse zu den schwarzen sehr verkleinert, so dass das Grau des Ausschnittes sich nur wenig von dem Schwarz des Schirmes unterschied, so trat jetzt bei Bewegungen des Auges eine deutliche Aufhellung des Bildes ein. Die Grösse der vier weissen Sectoren betrug hierbei 5° bei je 85° Schwarz und derselben Umlaufgeschwindigkeit. Indessen war diese Aufhellung nicht bei jeder Blickrichtung gleich deutlich, nämlich dann nicht, wenn das Auge sich der Drehung der Scheibe entgegen bewegte, sondern nur, wenn die Blicklinie derselben folgte. Befand sich also der Ausschnitt oberhalb der Achse der Scheibe, so sah man bei Bewegung des Auges nach rechts vom Objecte dieses nach links deutlich aufblitzen, wenn auch meist nicht vervielfältigt. Beim Blicke nach links dagegen zeigte sich keine Aufhellung, nicht einmal der unbestimmte Eindruck, der nunmehr an der rechten Seite des Objectes zu erwarten war, entsprechend der obigen Beobachtung bei grösserem weissen Sector. Noch deutlicher wurde jenes Aufblitzen an der linken Seite des Objectes, wenn man einen grösseren Ausschnitt wählte, z. B. einen kreisförmigen von 10 mm Dm. Dagegen nimmt die Erscheinung immer mehr ab, je mehr sich die Stellung des Ausschnittes dem horizontalen Durchmesser der Scheibe nähert; und verschwindet, sobald dieser erreicht ist, ganz, auch bei grösserem Ausschnitte und Sector.

Jedes Mal nun, wenn das Bild des Objectes deutlich wird, bemerkt man gewisse Gestaltveränderungen an demselben, welche auch bei jeder beliebigen anderen Form des Ausschnittes immer in bestimmter Weise wiederkehren und somit ein gesetzmässiges Verhalten

zeigen. Das erste, was auffällt, ist, dass beim Blicke mit der Drehung das Bild des Objectes sich verschmälert, so dass das Quadrat zu einem schmalen Rechtecke wird, dessen horizontale Seite kaum halb so breit ist, wie die verticale. Steht ferner der Ausschnitt nicht gerade senkrecht über der Mitte, so zeigt sich noch eine weitere Gestaltveränderung, welche am deutlichsten wird bei einer Stellung rechts oder links in Höhe der Mitte. Dieselbe besteht darin, dass die horizontalen Seiten des Quadrates ihre Richtung beibehalten, dagegen die beiden senkrechten schief werden, so dass eine rhombische bezw. rhomboidische Figur entsteht. Die Neigung derselben ist beim Blicke nach links umgekehrt wie beim Blicke nach rechts, so dass z. B., wenn das eine Mal ein spitzer Winkel unten links war, bei umgekehrter Blickrichtung an derselben Stelle ein stumpfer ist und entsprechend an den drei anderen Ecken. Dazu ist die Neigung dieser rhombischen Figur und ihre Gestaltsveränderung in Bezug auf die Blickrichtung, wenn sie auf der rechten Seite der Scheibe steht, gerade entgegengesetzt derjenigen auf der linken. Im ersteren Falle verschiebt sich nämlich das obere Ende in demselben Sinne wie die Blickbewegung, in letzterem umgekehrt. Wählt man Ausschnitte von anderer Form, z. B. runde, so zeigen sich auch diese verändert.

Bei der Undeutlichkeit der Bilder ist es aber nicht leicht, sich über diese Umwandlungen Rechenschaft zu geben, und in Folge dessen erklärlich, dass dieselben bisher keine nähere Beachtung gefunden haben. Um sie genauer zu beobachten, ist es erforderlich, die Helligkeit der weissen Sectoren so weit zu verstärken, dass die Bilder, trotz ihrer kurzen Dauer einen lebhafteren Eindruck hinterlassen. Dies war sehr einfach dadurch zu erreichen, dass man statt einer Scheibe mit schwarzen und weissen, eine solche mit ausgeschnittenen Sectoren wählte und hinter diese eine Petroleumlampe mit Milchglasglocke aufstellte, welche letztere durch die offenen Stellen der Scheibe ihr Licht hindurchwarf. Am bequemsten bedient man sich hierzu des sog. Episkotister, da an diesem die Sectoren verstellbar eingerichtet sind. Bei einer solchen Versuchsanordnung sind die Erscheinungen so lebhaft und im ersten Augenblicke überraschend, dass man schon dadurch allein sich zu einer näheren Untersuchung angeregt fühlt. Abgesehen davon scheinen sie aber auch, wie wir später sehen werden, ein praktisches Ergebniss zu versprechen.

Um die verschiedenen Einflüsse, von denen die Veränderungen der Nachbilder abhängen, zu trennen, bemühte ich mich, die durch

eine längere Dauer der Einwirkung entstehende Verziehung und Verbreiterung in der Blickrichtung zunächst auszuschliessen, und wurden daher vier kleinere Sectoren von je 5°, welchen also wieder 85° undurchbrochener Scheibe entsprachen, eingestellt. Im Uebrigen war Versuchsanordnung und Rotationsgeschwindigkeit dieselbe wie oben. Zur Beseitigung anderer störender Netzhautbilder waren zu beiden Seiten des Schirmes schwarze Blenden aufgestellt, so dass der Beobachter nur das Object sah. Die Stellung des Kopfes wurde durch eine an dem unteren Orbitalrand sich anpassende Stütze gesichert, die Grenzen der Bewegung durch zwei an einem Perimeterbogen angebrachte Marken bezeichnet.

Wie wir oben bemerkten, ist die Stellung des Ausschnittes vor der Scheibe auf die Gestaltveränderungen, welche sein Nachbild bei Blickwendungen erleidet, von wesentlichem Einflusse, und wurde daher zunächst wiederum diejenige Stellung gewählt, bei welcher die Umwandlungen verhältnissmässig am einfachsten waren, nämlich diejenige gerade über der Mitte. Dasjenige, was besonders hierbei auffiel (s. o.) war, dass das Object bei Blickwendung mit der Drehung sich verschmälerte. Bei der jetzigen Versuchsanordnung zeigt sich nun, dass die bei Seitenwendung entstehenden Bilder des Ausschnittes gegen die früheren sehr hell und leuchtend erscheinen, so dass etwaige Gestaltsveränderungen sehr deutlich zu erkennen sind. Fand die Beobachtung mit dem linken Auge statt, so war das Bild des quadratischen Ausschnittes beim Blicke nach rechts wiederum verschmälert, so dass ein stehendes Rechteck entstand, dessen senkrechte Seite reichlich doppelt so lang war, als die wagerechte. Beim Blicke nach links dagegen wurde das Quadrat im Gegentheil verbreitert zu einem liegenden Rechtecke, dessen horizontale Seite nicht ganz doppelt so lang erschien, als die verticale. Dabei konnte deutlich erkannt werden, dass die Veränderung nur die horizontale Seite betraf, während die verticale die Höhe des ursprünglichen Quadrates beibehielt. Der Grad dieser Verbreiterung bezw. Verschmälerung hing ab von der Energie, mit welcher die Augenbewegung ausgeführt wurde, sowie von der Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe. Wurde letztere durch den Druck einer auf der Achse schleifenden Feder vermindert, so nahm die Verbreiterung beim Blicke nach links erheblich zu, während die Verschmälerung in umgekehrter Richtung sich verminderte, ja, sie konnte sogar in das Gegentheil umschlagen, so dass auch in dieser Blickrichtung ein liegendes Rechteck entstand.

Nach dem vorhin über den Einfluss der Dauer des Lichtreizes Gesagten ist das Letztere ohne Weiteres verständlich.

Was die Zahl der auf diese Weise entstehenden Eindrücke betrifft, so war dieselbe bei ungehemmter Rotation nicht leicht zu schätzen, aber immerhin fiel auf, dass beim Blicke nach links die Vierecke entschieden zahlreicher waren als beim Blicke nach rechts. Bei einer Wendung von 40° *R* nach 40° *L* und umgekehrt würde ich die Zahl im ersten Falle auf 10—12, im letzten auf etwas mehr als die Hälfte (6—7) schätzen. Dem entsprechend waren auch die Abstände der einzelnen Figuren im ersteren Falle viel geringer als im letzteren, und zwar nicht nur wegen der grösseren absoluten Breite, sondern man hatte den Eindruck, dass auch, wenn die schmalen Figuren sich zu der Ausdehnung der anderen verbreiterten, ihre gegenseitigen Abstände doch entschieden grösser sein würden.

Sehr auffällig änderte sich dieses Bild, wenn anstatt des linken Auges das rechte die Beobachtung machte. Die Verbreiterung beim Blicke nach links und die Verschmälerung nach rechts (also gegen, bezw. mit der Drehung) blieb zwar an sich bestehen, doch erschien die erstere ganz wesentlich vermehrt, die letztere ebenso auffällig vermindert. Auch bei energischster Wendung nach rechts konnte ich niemals so schmale Rechtecke zu Gesichte bekommen, wie sie auf dem linken Auge bei derselben Blickwendung auftraten. Vielmehr war die Verschmälerung sehr unauffällig, so dass das Bild wenig von seiner quadratischen Gestalt einbüsste. Beim Blicke nach links dagegen war die horizontale Seite fast um das Dreifache verlängert, so dass ein langgestrecktes liegendes Rechteck entstand. Was die Zahl der Vierecke betrifft, so war dieselbe nunmehr bei Rechtsanwendung grösser als bei Linkswendung, wenngleich der Unterschied nicht so sehr in die Augen fiel wie vorher und man schon besonders auf ihn achten musste. Eine Veränderung der Winkel war bei dieser Stellung des Ausschnittes nicht zu bemerken; dieselben blieben Rechte, und wär eine rhombische Verschiebung in keiner Weise angedeutet.

Ganz anders gestaltet sich die Sache, wenn der Ausschnitt, statt vor den senkrechten, vor den horizontalen Durchmesser der Scheibe gestellt wird. Der Unterschied in der Breite der Figuren wird hier viel weniger deutlich, so dass man schon energische und ausgiebige Blickwendungen ausführen muss, um ihn überhaupt zu bemerken. Ein wesentlicher Unterschied ist aber der, dass die Sache sich auf beiden Augen umgekehrt verhält. Für das linke Auge traten die

schmäleren Figuren beim Blicke nach rechts, für das rechte, wenn auch weniger ausgesprochen, beim Blicke nach links auf, die breiteren umgekehrt, während, wie wir oben sahen, bei Aufstellung des Ausschnittes vor dem senkrechten Durchmesser für jedes Auge die Verbreiterung beim Blicke nach links, die Verschmälerung nach rechts stattfand. Was die Zahl der Bilder betrifft, so verhielt dieselbe sich im Princip wie oben, nämlich bei Aussenwendung des Auges grösser als bei Innenwendung, und zwar auf dem linken Auge wieder am auffallendsten. So weit herrschte auf beiden Seiten der Scheibe vollkommene Uebereinstimmung, dagegen nicht in Bezug auf die nunmehr zu erwähnende sehr auffällige Veränderung, nämlich die Winkelverschiebung. Die Figur des Ausschnittes behielt nicht ihre rechteckige Form bei wie am verticalen Durchmesser, sondern wurde rhomboidisch, indem die horizontalen Seiten in ihrer Lage unverändert blieben, die beiden anderen sich je nach der Blickrichtung neigten, wobei sie vollkommen parallel blieben. Stand der Schirm auf der rechten Seite der Scheibe (vom Beobachter aus), so neigten sich die oberen Enden in gleichem Sinne wie die Blickwendung, auf der linken Seite des Schirmes aber umgekehrt. Die Neigung von Figur 1 würde also der Blickwendung nach rechts entsprechen auf der linken Seite der Scheibe, nach links auf der rechten Seite derselben; Figur 2 zeigt die Veränderung, welche der Blickwendung nach links auf der linken Seite oder nach rechts auf der rechten Seite entspricht. Bei näherem Zusehen bemerkt man auch, dass der verschiedene Grad dieser Winkelverschiebung die wesentliche Ursache ist für die Differenz in der Breite der Figuren, die letztere also nur eine scheinbare ist. Bei Innenwendung jedes Auges, besonders des linken, ist die Winkelneigung stärker als bei Aussenwendung. Da die Höhe dieselbe bleibt, so erscheinen dadurch die vorher verticalen Seiten verlängert und somit die ganze Figur schmäler (Fig. 26). Ob abgesehen von dieser durch die verschiedene Neigung hervorgerufenen scheinbaren Differenz in den horizontalen Dimensionen noch eine wirkliche vorhanden ist, lässt sich schwer schätzen.

Um diese Veränderungen zu erklären, schien es geboten, das Beobachtungsmaterial etwas zu vermehren, und wählte ich desshalb noch fünf andere Ausschnitte von verschiedener Form, nämlich einen kreisförmigen von 10 mm Durchmesser, zwei Halbkreise von demselben Durchmesser, den einen mit Bogen nach rechts, den anderen mit Bogen nach links, und zwei Rechtecke, ein stehendes und ein

liegendes, bei welchen beiden die lange Seite 5 mm, die kurze 2,5 mm betrug. Diese wurden der Reihe nach in die verschiedenen Stellungen vor der Scheibe gebracht und die an ihnen bemerkbaren Veränderungen notirt. Abgesehen von dem senkrechten und wagerechten Durchmesser der Scheibe wurden auch die Stellungen zwischen diesen beiden untersucht, die also den Linien entsprachen, welche die rechten Winkel zwischen horizontalem und verticalem Durchmesser halbirten. Ich bezeichne dieselben der Kürze wegen als Diagonalstellungen *RO*, *LO*, *RU* und *LU*.

Wir beschränken uns zunächst auf eine Beschreibung des Beobachteten, ohne vorläufig auf eine Erklärung einzugehen, wobei wir das oben bereits Festgestellte an der Stelle, wo es hingehört, kurz wiederholen wollen. Von dem senkrechten Durchmesser wurde nur der obere Theil untersucht, da der untere durch das Gestell des Uhrwerkes verdeckt war.

1. Senkrechter Durchmesser.

A. Kreis. Beim Blicke nach rechts Verschmälerung bis zu schmaler Ellipse Figur 3. Bei Blick nach links Verbreiterung zu liegender Ellipse Figur 4.

B. Halbkreis zeigt dieselben Veränderungen, wenn man sich die obigen Figuren halbirt denkt.

C. Quadrat. Verbreiterung beim Blicke nach links Figur 5, Verschmälerung nach rechts auf kaum die halbe Breite Figur 6.

D. Stehendes Rechteck. Bei Blick nach links Verbreiterung bis fast zum Quadrat, nach rechts Verschmälerung ebenfalls auf etwa die Hälfte.

E. Liegendes Rechteck. Bei Blick nach links Verbreiterung um fast das doppelte, in umgekehrter Richtung Verschmälerung wie oben.

Diese Figuren gelten für das linke Auge. Wird mit dem rechten beobachtet, so zeigt sich durchgehends beim Blicke nach links die Verbreiterung grösser, nach rechts die Verschmälerung geringer, also überhaupt breitere Figuren.

Die Verschmälerung ist immer um so auffälliger, je grösser die Figur ist, indem z. B. der Kreis zu einer Ellipse zusammenschnurrt, deren horizontale Achse nur etwa 2—3 mm breit ist, während das stehende Rechteck nicht viel schmäler erscheint, als etwa die Hälfte seiner sonstigen Breite. Alle Veränderungen erfolgen auf Kosten

der horizontalen Dimensionen, indem die Höhe der Figuren immer der ursprünglichen gleich bleibt.

Wir haben vorstehend nur die einzelne Figur beschrieben. In Bezug auf die Abstände und die Zahl gilt das oben bereits Gesagte bei allen Ausschnitten in gleicher Weise. Die geringeren Abstände bei Auswärtswendung des linken Auges sind für den Kreis besonders auffällig, indem die breiten Ellipsen sich mit den Enden zu berühren, ja zuweilen sogar etwas zu decken scheinen, während die schmalen stehenden Ellipsen bei Rechtswendung um etwa 4—5 cm aus einander stehen. Wird das rechte Auge eingestellt, so zeigen die breiten Ellipsen beim Blicke nach links deutliche Abstände bis etwa 1 cm, während die der schmalen beim Blicke nach rechts jetzt entschieden geringer sind (bis etwa 2 cm) als die dem linken Auge entsprechenden.

2. Horizontaler Durchmesser.

a. Rechte Seite der Scheibe. Für die Folge werde ich mich der Kürze wegen nur noch der Buchstaben *A*, *B*, *C*, *D*, *E* bedienen, welche dieselben Figuren bedeuten, wie beim senkrechten Durchmesser angegeben. Bezüglich der Veränderungen der Figuren sei vorausgeschickt, dass alle beim Blicke nach rechts für das linke Auge etwas schmäler, für das rechte etwas breiter erscheinen als in umgekehrter Blickrichtung, doch ist die Differenz für das linke Auge am deutlichsten. Für beide ist dieser Unterschied aber weit weniger auffällig als am senkrechten Durchmesser, so dass man ihn bei nicht sehr energischen Blickbewegungen und namentlich an den breiteren Figuren vollkommen übersehen kann. Derselbe ist, wie gesagt, hauptsächlich durch die stärkere Neigung hervorgerufen. Eine scheinbare Verschmälerung entsteht ferner, wenn die Drehung der Scheibe sich verlangsamt. In Wirklichkeit handelt es sich hier auch um eine schräge Verlängerung der Figur, indem die Anfangs verticalen Dimensionen sich immer mehr ausziehen und immer stärker neigen, während die horizontalen Seiten bei genauem Zusehen ihre Länge nicht zu ändern scheinen. In Bezug auf Zahl und Abstände gilt stets dasselbe wie früher, nämlich, dass bei Innenwendung jedes Auges die Zahl der Figuren kleiner, die Abstände grösser sind als bei Aussenwendung. Da dies auch für die später zu untersuchenden Diagonalstellungen, sowie für die linke Seite der Scheibe zutrifft, so soll es fortan nicht mehr ausdrücklich wiederholt werden. Hier sei nur noch bemerkt, dass am horizontalen Durchmesser der geschilderte

Unterschied der Zwischenräume besonders bemerkbar ist, da die Figuren selbst in ihrer Breite keinen so grossen Unterschied zeigen.

Das Auffälligste bei dieser Stellung des Ausschnittes ist, wie wir schon sahen, die schräge Verschiebung der Figuren, und zwar sei hier gleich bemerkt, dass dieselbe sich für jedes Auge bei jeder beliebigen Form des Ausschnittes der Richtung nach vollkommen gleich verhält, indem immer eine Verschiebung des oberen Endes erfolgt, welche der Blickwendung gleichgerichtet ist. Diese Verschiebung nimmt immer mehr zu, je langsamer die Drehung der Scheibe wird, und gleichzeitig verlängern sich die geneigten, vorher senkrechten Dimensionen. Im Einzelnen gestaltet sich die Sache wie folgt.

A. Statt des Kreises erhält man eine länglich runde Figur, deren längster Durchmesser mit dem oberen Ende in der Blickrichtung geneigt ist. Beim Blicke nach rechts des linken Auges haben wir also Figur 7, beim Blicke nach links Figur 8. Wie wir gleich sehen werden, entsteht diese Figur durch eine Verzerrung oder Verschiebung des ursprünglichen Kreises in der Weise, dass die äussersten Enden des längsten Durchmessers *AB* nicht etwa dem oberen und unteren Ende des früher verticalen Durchmessers entsprechen, sondern die Enden des letzteren liegen bei *a* und *b*. Dies zeigt sich sofort, wenn wir

B. den Halbkreis betrachten. Ist der Bogen nach links gerichtet, so ist die Verschiebung desselben beim Blicke nach rechts eine solche, dass derselbe nach oben spitz ausgezogen, nach unten bauchig gewölbt erscheint (Fig. 9). Beim Blicke nach links dagegen ist die stärkste Wölbung an dem nunmehr nach links geneigten oberen Ende (Fig. 10), während das untere spitz zuläuft. Umgekehrt ist die Sache, wenn der Bogen nach rechts steht. Beim Blicke nach rechts ist alsdann das obere Ende das gewölbte, das untere spitz (Fig. 11), beim Blicke nach links ist das obere Ende spitz ausgezogen, das untere nach rechts gewölbt (Fig. 12). Setzen wir die beiden Hälften, welche der Blickwendung nach rechts entsprechen, zusammen, so erhalten wir Figur 7, in welcher die Linie *a b* die beiden durch die Verschiebung veränderten Halbkreise trennt. Beim Blicke nach links würde in derselben Weise Figur 8 zu Stande kommen, bei welcher die Linie *c d* die Trennung der beiden Hälften andeutet.

C. Das Quadrat verwandelt sich in einen Rhombus, oder zuweilen, z. B. bei verminderter Schnelligkeit der Scheibenbewegung,

sowie auch bei Innenwendung jedes Auges in ein Rhomboid, dessen horizontale Seite die kürzere ist, während die früher verticale sich verlängert.

D und *E* werden ebenfalls rhomboide Figuren, im ersten Falle ein stehendes, im letzteren ein liegendes. Die Verschiebung erfolgt auch bei den Vierecken natürlich immer im Sinne einer Neigung des oberen Endes, entsprechend der Blickwendung. Der Unterschied in der Breite ist oben bereits erläutert.

b. In Bezug auf die Veränderungen, welche sich zeigen, wenn der Ausschnitt auf der linken Seite der Scheibe steht, können wir uns kürzer fassen, indem hier sich alles genau so verhält, wie auf der rechten, mit dem einzigen Unterschiede, dass die oberen Enden sich stets der Blickrichtung entgegen neigen, sowohl für das linke wie das rechte Auge. Beim Kreise entspricht also Figur 7 der Blickwendung nach links, Figur 8 derjenigen nach rechts. Die Halbkreise zeigen sich im ersteren Falle in Gestalt der Figur 9 bezw. Figur 11, im letzteren der Figur 10 bezw. Figur 12. Was die Breite betrifft, so erscheint auch hier bei Innenwendung eines jeden Auges die Figur etwas schmäler als bei Aussenwendung (s. o.).

Gehen wir nunmehr über zu den Diagonalstellungen (s. o.) und betrachten zunächst diejenige links oben vor der Scheibe. Hier zeigt sich bei allen Figuren eine Verschiebung, wie wir sie auf derselben Seite der Scheibe in Höhe des Centrums beschrieben haben, also das u n t e r e Ende immer der Blickwendung gleich gerichtet. Abgesehen davon ist beim Blicke nach rechts jede Figur deutlich verschmälert, beim Blicke nach links verbreitert. Dies ist für beide Augen gleich, nur dass für das rechte in jeder Richtung die Figuren breiter sind. In Folge dessen sind bei Aussenwendung desselben zumal die kleinen Figuren kaum wesentlich schmäler als die ursprünglichen, dafür aber bei Innenwendung um so breiter. Wir beschränken uns auf die nähere Beschreibung der Bilder, wie sie sich für das linke Auge ergeben.

A. Beim Blicke nach rechts Figur 13, nach links Figur 14. Die Lage des früheren verticalen Durchmessers ist auch hier durch die punktirte Linie angedeutet, wie sie sich aus der Gestaltveränderung

B. der Halbkreise ergibt. Wenn Bogen nach links, erhalten wir für die Blickwendung nach rechts Figur 15, nach links Figur 16, wenn Bogen nach rechts, sehen wir in denselben Fällen Figur 17

bezw. 18. Die Zusammensetzung der zu einander gehörigen Hälften ergibt die Figur des ganzen Kreises.

Die Gestalt der Vierecke *C*, *D*, *E* ergibt sich aus dem Gesagten von selbst.

Was das Maass der Verschmälerung, wie der Verbreiterung betrifft, so ist dasselbe für beide Arten von Gestaltveränderungen geringer, als oben für die Stellung senkrecht über der Mitte angegeben. Bewegt man von dieser letzteren Stellung aus während der Rotation der Scheibe einen solchen Ausschnitt langsam in einem der Peripherie der Scheibe concentrischen Bogen auf den horizontalen Durchmesser zu, so bemerkt man, dass mit zunehmender Schiefheit der Bilder die Veränderungen ihrer horizontalen Dimensionen allmälig abnehmen.

Für die Diagonalstellung rechts oben gilt bezüglich der Verschmälerung und Verbreiterung der Figuren dasselbe wie links oben. Sie zeigen sich in demselben Maasse und auch in demselben Sinne in Bezug auf die Blickwendung. Nur ist die Neigung des oberen Endes wie auf der ganzen rechten Seite der Scheibe der Blickwendung entsprechend.

Wir erhalten somit für *A* beim Blicke nach rechts Figur 19, nach links Figur 20. Für *B* beim Blicke nach rechts Figur 21 bezw. 22, nach links Figur 23 bezw. 24. Vierecke bedürfen keiner besonderen Erläuterung.

Für beide Augen ist wiederum der Unterschied, dass die Figuren des rechten in jeder Richtung breiter sind als die des linken.

Die Diagonalstellung *R U* zeigt dieselbe Winkelverschiebung, dagegen Verschmälerung und Verbreiterung der Figuren im umgekehrten Sinne. Nämlich das schmale Bild entsteht hier beim Blicke nach links, das breite beim Blicke nach rechts. Dabei findet sich aber, dass das Maass der Breitenänderung sich für beide Augen gerade umgekehrt verhält wie vorher. Während nämlich bisher in beiden Blickrichtungen die Bilder des rechten Auges die breiteren waren, sind es nunmehr die des linken. Da, wie gesagt, die Verbreiterung bezw. Verschmälerung jetzt bei entgegengesetzter Blickrichtung auftritt wie früher, so erhalten wir beim Blicke nach links für das rechte Auge ähnliche Bilder, wie früher beim Blicke nach rechts für das linke und umgekehrt. Um Wiederholungen zu vermeiden, sei gleich erwähnt, dass dies ebenso für die Diagonalstellung *L U* gilt.

Dementsprechend finden wir folgende Veränderungen für das rechte Auge:

A. Beim Blicke nach rechts Figur 14, nach links Figur 13.

B. Beim Blicke nach rechts Figur 16 bezw. 18, nach links Figur 15 bezw. 17.

Vierecke sind leicht zu construiren.

Diagonalstellung *L U.*

Bezüglich der Breitenverhältnisse wird auf *R U* verwiesen. Die Schiefheit der oberen Enden ist hier wieder, wie auf der ganzen linken Seite der Scheibe, umgekehrt.

Also *A* gibt beim Blicke nach rechts Figur 20, nach links Figur 19.

B. Beim Blicke nach rechts Figur 23 bezw. 24, nach links Figur 21 bezw. 22.

Es findet sich somit, dass für keine der betreffenden Stellungen die Figuren bei der nämlichen Blickrichtung wiederkehren. Auf der ganzen rechten Seite ist die Schiefheit umgekehrt wie auf der linken, dagegen verhalten sich die Dimensionen in der oberen und der unteren Hälfte der Scheibe umgekehrt. *L O* sehen wir beim Blicke nach links dasselbe, wie *R U* beim Blicke nach rechts. Ebenso sind *R O* und *L U* die Bilder bei entgegengesetzter Blickrichtung gleich. Ferner ist der Unterschied in der Breite am stärksten im senkrechten Durchmesser und nimmt von hier allmälig ab, um im horizontalen am geringsten zu werden. Gleichzeitig hiermit nimmt die Schiefheit allmälig zu. Im senkrechten Meridian ist sie Null, am auffälligsten im horizontalen, um von hier nach oben und unten allmälig abzunehmen. Die Diagonalstellungen liefern somit Bilder, welche zwischen denen des verticalen und horizontalen Durchmessers in der Mitte stehen, und die Eigenthümlichkeiten beider in vermindertem Maasse zeigen. Wegen des letzteren Umstandes treten auch die Unterschiede in den Bildern beider Augen hier weniger hervor, als am verticalen Durchmesser, wenngleich sie bei genügender Aufmerksamkeit immer mit Sicherheit zu erkennen sind.

Die Erklärung dieser Erscheinungen ist bei einer Analyse der in Betracht kommenden physikalischen und physiologischen Vorgänge nicht schwierig. Betrachten wir zunächst die Breite der Figuren. Dieselbe wird offenbar abhängig sein von dem Wege, den jeder Punkt der leuchtenden Figur von dem Augenblicke seines Erscheinens bis zu seinem Verschwinden auf der Netzhaut beschreibt. Würden

sämmtliche Punkte der Figur in demselben Augenblicke aufleuchten und ebenso gleichzeitig verschwinden, so müsste bei beiden Blickrichtungen, eine gleiche Schnelligkeit der Augenbewegung vorausgesetzt, die Figur gleich gross erscheinen, denn es wäre nicht einzusehen, warum sie sich in der einen oder anderen Blickrichtung verschmälern sollte, da ja der Weg, den jeder Punkt derselben auf der Netzhaut beschreibt, in beiden Fällen der gleiche ist. Dasselbe wird auch zutreffen, wenn die Aufhellung des Ausschnittes in einer Richtung stattfindet, welche senkrecht ist zur Blickwendung. Wenn also z. B. bei horizontaler Blickwendung die Aufhellung von oben nach unten oder von unten nach oben erfolgt, so werden sowohl beim Blicke nach rechts wie nach links alle der Horizontalen parallel liegenden Punkte, welche ja gleichzeitig erhellt werden, auch denselben Weg auf der Netzhaut zurücklegen, und kann somit eine Verschiedenheit der horizontalen Dimensionen bei beiden Blickrichtungen, immer eine gleiche Schnelligkeit der Augenbewegung vorausgesetzt, nicht entstehen. Dies trifft zu für die Stellung der Ausschnitte in Höhe des horizontalen Durchmessers. Der Spalt in der Scheibe bewegt sich rechts von oben nach unten, links von unten nach oben in einer Richtung, die für die kurze Strecke als senkrecht auf die Blickwendung angesehen werden kann, da die geringe Abweichung bei der Kleinheit der Figuren sich experimentell nicht bemerkbar macht. Wenn sich trotzdem auch hier, wie wir sahen, gewisse Unterschiede zeigen, so deutet dies darauf hin, dass unsere obige Voraussetzung einer Gleichmässigkeit der Augenbewegungen nicht zutrifft, worauf wir, um die Sache nicht zu verwickeln, vorläufig nicht eingehen wollen.

Der auffallende Unterschied zwischen den Bildern bei Rechts- und Linkswendung am senkrechten Durchmesser erklärt sich durch dieselbe Betrachtung. Hier wird, da sich die Scheibe wie der Zeiger einer Uhr dreht, durch den leuchtenden Spalt der Ausschnitte nicht in der Richtung von oben nach unten bezw. umgekehrt erhellt, sondern zuerst die linke Seite der Figur, und von hier aus schreitet die Aufhellung fort nach der rechten. Es bewegt sich also bei der Linkswendung jeder leuchtende Punkt der Blickrichtung entgegen, bei der Rechtswendung mit derselben. In letzterem Falle folgt das Auge dem leuchtenden Spalte bis zu seinem Verschwinden, und da derselbe immer schmäler ist, als der Ausschnitt selbst, wird auch sein Nachbild sich ebenso verhalten. Daher ist auch der Grad der

Verschmälerung um so grösser, je kleiner der Spalt im Vergleiche zur Figur (S. 615). Eine Verbreiterung muss aber bei entgegengesetzter Blickrichtung entstehen. Für die Breite des Nachbildes der Figur kommt es, wie gesagt, auf den Weg an, welchen jeder Punkt derselben auf der Netzhaut zurücklegt, und wird dieser um so grösser sein, mit je grösserer Geschwindigkeit sich Auge und leuchtender Punkt gegen einander bewegen. Ist die Bewegung jedes Punktes in der Wagerechten Null, wie dies für den horizontalen Durchmesser zutrifft, so ist, wie wir sahen, bei beiden Blickrichtungen die gleiche Breite zu erwarten. Am senkrechten Durchmesser bewegt sich aber bei Linkswendung der bereits erhellte Theil der Figur der Augenbewegung entgegen. Die Strecke, welche jeder Punkt auf der Netzhaut zurücklegt, wird somit um so grösser; bei Rechtswendung dagegen folgt das Auge der Bewegung des leuchtenden Theiles in derselben Richtung, so dass beide Bewegungen sich mehr oder weniger compensiren, jedenfalls aber nicht gegenseitig verstärken können. In Folge dessen ist die Strecke, welche jeder Punkt bis zu seinem Verschwinden auf der Netzhaut zurücklegt, um so kleiner. Bei jeder Bewegung, welche mit der Drehung erfolgt, wird also eine Verschmälerung, gegen die Drehnng eine Verbreiterung eintreten müssen. Dies erklärt, warum der Unterschied in der Breite der Nachbilder am stärksten ist am verticalen Durchmesser, wo die Augenbewegung der Drehungsrichtung parallel ist (die kleine Abweichung kommt wiederum nicht in Betracht), dagegen allmälig abnimmt, je mehr man sich dem horizontalen Durchmesser nähert, wo die Augenbewegung senkrecht auf die Scheibenbewegung erfolgt. Es gilt dies selbstverständlich für jedes Auge in gleicher Weise. In der unteren Hälfte der Scheibe erfolgt die Linkswendung mit der Drehung, die Rechtswendung gegen dieselbe, daher die Umkehrung der Breitenverhältnisse (S. 619).

Hieraus ergibt sich auch der Grund für eine Erscheinung, welche oben erwähnt ist bei den Versuchen im Tageslichte an einer Scheibe mit schwarzen und weissen Sectoren. Wir sahen hier mit der Drehung ein Nachbild der allerdings verschmälerten Figur aufblitzen, während in der anderen Richtung überhaupt nichts deutlich zu erkennen war. Dies ist verständlich dadurch, dass in dem ersten Falle jeder helle Punkt viel langsamer über die Netzhaut gleitet, und daher die Stellen, welche er trifft, viel länger und nachhaltiger erregt als im entgegengesetzten Falle, wo der Reiz weitaus schneller über die Netzhaut

hineilt. In Folge dessen kommt es im letzteren bei dem an sich schon schwachen Eindrucke nicht zu einem deutlichen Nachbilde, im ersteren wohl. Ebenso ist es nunmehr erklärlich, dass jene Erscheinung am lebhaftesten an dem verticalen Durchmesser wahrgenommen, dagegen allmälig schwächer wird, wenn man den Ausschnitt dem horizontalen nähert, um auf diesem vollständig zu verschwinden. Der Unterschied in der Dauer des Eindruckes bei beiden Blickrichtungen kann eben nur an denjenigen Stellen vorhanden sein, wo die Scheibenbewegung eine horizontale, also der Blickwendung gleich gerichtete Componente hat, ist somit am stärksten am verticalen Durchmesser, während am horizontalen, wo die Bewegung der Scheibe auf die des Auges senkrecht ist, für beide Richtungen die Dauer des Eindruckes die gleiche wird und offenbar für das Zustandekommen der Erscheinung nicht ausreicht.

Die Winkelverschiebung der Bilder ist ebenfalls nicht schwierig zu erklären. Sie beruht darauf, dass die Beleuchtung des oberen und des unteren Theiles eines Ausschnittes nicht gleichzeitig erfolgt, und muss in Folge dessen der zuerst erhellte Theil gegen den anderen in der Richtung der Augenbewegung verschoben erscheinen. Nehmen wir z. B. die rechte Seite der Scheibe, so bewegt sich bei der angenommenen Drehungsrichtung der leuchtende Spalt am horizontalen Durchmesser von oben her an den Ausschnitt heran. Es wird also zuerst der obere Theil des letzteren beleuchtet, während der untere noch dunkel ist. In der Spanne Zeit, welche zwischen der Erhellung des oberen und unteren Endes verstreicht, hat sich das Auge schon um eine gewisse Strecke weiter bewegt. Die Erregung muss daher bei dem allmäligen Fortschreiten der Aufhellung nach und nach immer mehr excentrisch gelegene Theile der Netzhaut treffen. Das obere Ende der Figur muss also scheinbar näher nach dem Centrum des Gesichtsfeldes liegen, als das untere, wenn man die Blicklinie von der Figur her nach aussen oder innen bewegt. Umgekehrt scheint es weiter von dem Mittelpunkte entfernt, wenn die Blicklinie sich von aussen oder innen auf die Figur zu bewegt. So sieht man z. B. bei einer Blickwendung vom Ausschnitte aus nach links auf der rechten Seite eine Reihe von Wiederholungen auftauchen, deren oberes Ende auf ihn zu, also nach links gewendet ist; bei der umgekehrten Bewegung von links her auf die Figur zu erscheint dieselbe Reihe auf der rechten Seite mit entgegengesetzter Neigung des oberen Endes. Für die rechte Seite des Blickfeldes

Versch
zur F
gesetz
der I
Punk
so
leuch
Pun
Du
die
we
de
de
w
T

worauf wir später noch zurückkommen. Scheinbar ist nun, auch in Höhe des horizontalen Durchmessers, die Breite in beiden Blickrichtungen viel mehr verschieden als früher. Es scheint mir dies aber, zum Theil wenigstens, wiederum eine Urtheilstäuschung zu sein, welche auf den verschiedenen Grad der Neigung zurückzuführen ist So sieht z. B. in Figur 26 *a* entschieden schmäler aus als *b*, obschon bei beiden die horizontalen Linien *ab*, *cd*, $\alpha\beta$ und $\gamma\delta$ vollkommen gleich, nämlich 5 mm sind. Bei dieser verlangsamten Bewegung findet man häufig eine besondere Veränderung der Kreisfigur bei der Stellung vor dem verticalen Durchmesser, nämlich dass die rechte oder linke Seite nicht rund, sondern geradlinig erscheint. Je langsamer die Bewegung, um so deutlicher erkennt man, dass diese Linie die Grenzlinie des leuchtenden Spaltes selbst ist. Man sieht sie nur bei Bewegung mit der Drehung, und kommt die Erscheinung offenbar dadurch zu Stande, dass der Spalt sein eigenes Nachbild hinterlässt, weil er sich zu langsam hinter der Figur vorbeibewegt, um dieselbe in toto aufleuchten zu lassen. Wenn man einmal darauf aufmerksam geworden ist, sieht man es zuweilen auch bei schnellerer Drehung.

Durchaus anders gestaltet sich die Sache, wenn man die Beleuchtungsdauer verlängert, nicht durch eine Verlangsamung der Drehung, sondern durch Verbreiterung des Spaltes bei sonst gleich bleibender Rotationsgeschwindigkeit. Eine Abnahme der Zahl der Bilder kann in diesem Falle nicht stattfinden, da ja der Wechsel von Hell und Dunkel gleich häufig ist. Desgleichen liegt zu einer so hochgradigen Verschiebung kein Anlass vor, da ja der Unterschied der Zeit zwischen Erhellung des oberen und unteren Endes der Figur nicht grösser ist als bei schmalem Spalte. Die Verschiebung erscheint also da, wo sie überhaupt vorhanden ist, nicht grösser wie früher, sondern die Bilder sind in toto verbreitert. Verschiedene Einzelheiten, welche dabei bemerkt werden, erfordern eine besondere Erklärung.

Ich bediente mich einer Spaltbreite von je 45°, wobei also vier gegenüber liegende Octanten der Scheibe hell, die dazwischen befindlichen dunkel waren. Wir beginnen wieder mit der Stellung senkrecht über der Mitte.

A. Beim Blicke nach links des linken Auges sieht man ein liegendes Rechteck mit abgerundeten Enden, beim Blicke nach rechts im Wesentlichen dasselbe. Der Unterschied in der Breite ist nicht mehr wie früher bei schmalem Spalte, man sieht vielmehr, dass bei

Blickwendung entgegen der Drehung die Breite jetzt geringer ist als im umgekehrten Falle. Sehr auffällig ist auch der Unterschied in den Abständen der Bilder. Während beim Blicke nach rechts der Abstand der einander zugewandten Ränder mehrere Centimeter zu betragen scheint, decken sich dieselben beim Blicke nach links zum Theile, und ist es mir, wenigstens bei voller Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe, nicht möglich, dieselben aus einander zu bringen. Dies gelingt aber sehr leicht bei Linkswendung des rechten Auges, und findet man, dass die Bilder desselben im allg. wieder das frühere Verhältniss der horizontalen Dimensionen zeigen, nämlich bei Wendung gegen die Drehung grösser als umgekehrt. Jedoch ist der Unterschied viel weniger auffällig als bei schmalem Spalte, ja sehr häufig hat man nach beiden Richtungen das gleiche Bild, so dass es kaum möglich ist, einen Unterschied hinsichtlich der Breite zu erkennen. Für beide Augen zeigt sich aber eine Differenz an den beiden Enden der Figur bei Blickrichtung mit und gegen die Drehung. Im ersteren Falle sind dieselben viel flacher, im letzteren stärker abgerundet (Figur 27 und 28). Die Verbreiterung erfolgt also wesentlich auf Kosten des mittleren Theiles; denken wir uns diesen fort, wie durch die punktirten Linien angedeutet, so erhalten wir wiederum die dem schmalen Spalte entsprechenden Bilder.

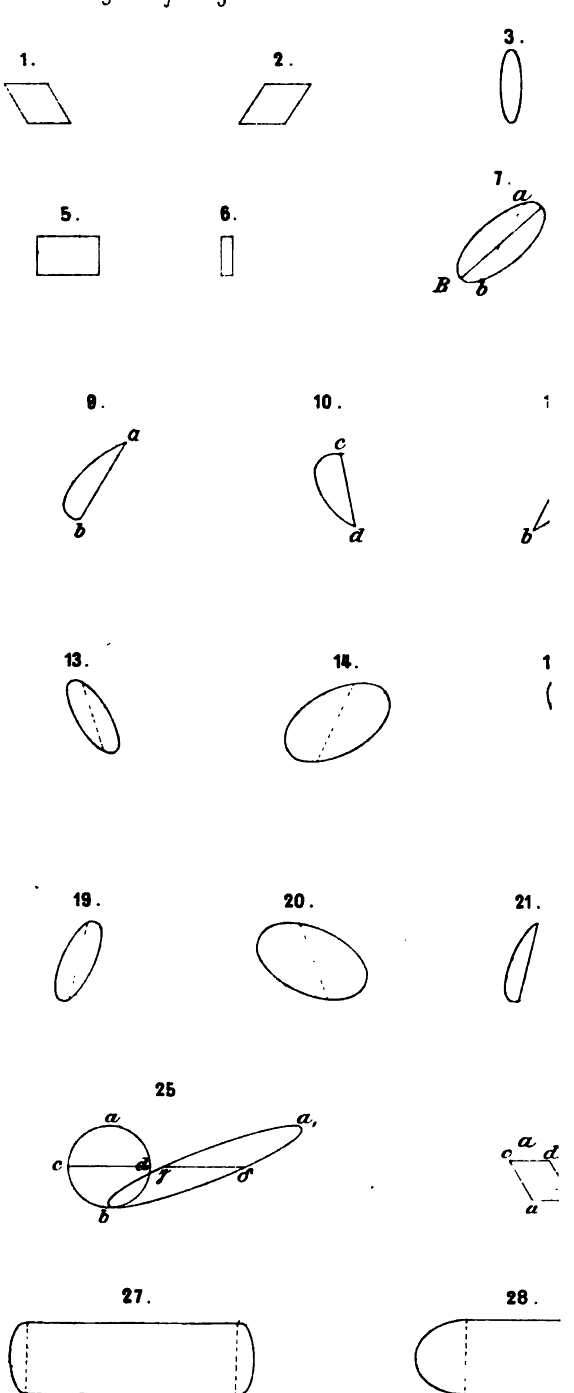
B. Beim Halbkreise hat man wegen der erwähnten Abflachung des Bogens sehr häufig den Eindruck eines regelmässigen Rechteckes beim Blicke mit der Drehung, doch bemerkt man bei genauer Beobachtung natürlich, dass nur die eine Seite wirklich geradlinig ist. Ausserdem besteht in beiden Richtungen die Verbreiterung, sowie die Unterschiede der Abstände und diejenigen der Breite, welche beim Vergleiche beider Augen hervortreten wie bei *A*.

Das letztere gilt auch für die Figuren *C*, *D*, *E*, bei denen sonst nichts Auffälliges zu bemerken ist. Beim stehenden Rechtecke ist die Umkehr der Breitenverhältnisse für das linke Auge gegen die beim schmalen Spalte beschriebenen, also Verschmälerung gegen die Drehung, Verbreiterung mit derselben, besonders deutlich.

Horizontaler Durchmesser der Scheibe rechts.

A. Verbreiterung, dazu Neigung wie früher. Man sieht also wie beim senkrechten Durchmesser breite Rechtecke mit abgerundeten Enden, welche ausserdem schräg gestellt sind, nämlich das obere Ende in der Blickrichtung verschoben. Im Gegensatze zu den Bildern

Archiv f. d. ges. Physiologie Bd. LXXI.



Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt

bei schmalem Spalte sieht man hier einen auffälligen Unterschied in der Breite wie in den Abständen der Bilder bei beiden Blickrichtungen. Für das linke Auge ist beim Blicke nach rechts die Breite der Figuren wie der Abstände wesentlich grösser als beim Blicke nach links. An meinem rechten Auge fällt der Unterschied zwischen Innen- und Aussenwendung aber niemals so gross aus, ja sehr oft lässt sich nicht mit Bestimmtheit sagen, ob bei der einen oder anderen Bilder und Abstände grösser sind. Die Figuren *B*, *C*, *D* und *E* zeigen im Wesentlichen dasselbe. Der Unterschied in der Breite ist wieder am deutlichsten am stehenden Rechtecke. Bei diesen breiteren Figuren kann man sehr deutlich eine Beobachtung machen, die aber, wenn man darauf achtet, auch bei schmalem Spalte hervortritt. Bei Aussenwendung nämlich sieht man gegen das Ende der Reihe die Bilder immer schmäler werden, so dass die letzten nur noch etwa die halbe Breite der ersten zu haben scheinen. Es deutet dies offenbar darauf hin, dass die Schnelligkeit der Bewegung nicht von Anfang bis Ende die gleiche bleibt. Bei Innenwendung konnte ich mich nicht davon überzeugen, doch ist wegen der viel kleineren Zahl der Bilder und der Grösse der Abstände der Vergleich erschwert.

Auf der linken Seite der Scheibe in derselben Höhe finden wir ganz dasselbe, nur dass selbstverständlich die Neigung des oberen Endes der Blickrichtung entgegengesetzt ist. Was die Diagonalstellungen betrifft, so ist eine ausführliche Erörterung derselben nicht mehr erforderlich, da die entstehenden Bilder die Eigenthümlichkeiten theils der dem senkrechten, theils der dem wagerechten Meridiane entsprechenden Stellungen haben, und jene sich verstärken bezw. abnehmen, je nachdem der Ausschnitt mehr dem einen oder anderen von beiden genähert wird.

Wird die Spaltbreite innerhalb der angegebenen Grenzen verändert, so ist die Folge, wie zu erwarten, eine Aenderung in der Breite der Bilder und ihrer Abstände. Wir hatten fest gestellt, dass am verticalen Durchmesser der Scheibe bei schmalem Spalte (5°) die Bilder mit der Drehung schmaler sind, als gegen dieselbe, bei breitem Spalte aber gerade umgekehrt. (Die Erklärung dieser Erscheinung soll unten folgen.) Es muss also dazwischen eine Spaltweite geben, welche die Bilder in beiden Richtungen gleich macht. Nehme ich, um diese festzustellen das stehende Rechteck, so finde ich für mein linkes Auge, dass die Nachbilder dieses Rechteckes bei einer Breite

der leuchtenden Sectoren von 12° sich nach beiden Richtungen gleich zeigen. Sie erhalten dabei etwa das Doppelte der Breite des Ausschnittes selbst, so dass die Figur fast vollkommen quadratisch erscheint. Es ist aber durchaus nicht gleichgültig, welche Figur man für diesen Versuch wählt. Betrachtet man bei derselben Spaltweite von 12° eine breitere, z. B. den Kreis, so sieht man, dass hier noch das Verhältniss besteht, wie es der geringen Spaltweite entspricht, d. h. also, dass die Bilder mit der Drehung schmaler erscheinen, als gegen dieselbe. Wollen wir also auch für diese Bilder die Grenze finden, welche dieselben nach beiden Richtungen gleich macht, so muss der leuchtende Spalt wieder vergrössert werden, und finde ich, dass derselbe alsdann einer Ausdehnung von etwa 25° bedarf. Da die Verhältnisse, unter welchen die Nachbilder von schmalen und breiten Figuren zu Stande kommen, an sich ganz übereinstimmen, so folgt aus dem Versuche meines Erachtens nur, dass die Ursachen, welche zu einer Verschiedenheit der Bilder in beiden Richtungen führen, bei einer Spaltbreite von 12° thatsächlich nicht aufgehoben sind, wenn es auch bei Anwendung der schmalen Bilder den Anschein hat. Diese Ursachen bestanden, wie wir sahen, darin, dass, wenn das Auge dem leuchtenden Spalte folgt, ein kleinerer Netzhautbezirk erregt wird, als wenn es sich gegen die Drehung bewegt. Bei breitem Spalt bleibt nun eine mehr oder weniger lange Zeit die ganze Figur gleichmässig erhellt, und werden in dieser Zeit Verschiedenheiten in der Schnelligkeit der Augenbewegungen sich geltend machen können, vorausgesetzt, dass dieses Stadium gleichmässiger Erhellung hinreichend lange andauert. Damit Letzteres erreicht werde, muss natürlich die Spaltbreite zunehmen mit der Breite der Figur, und werden jene Ursachen daher nur aufgehoben, wenn die erstere über letztere ein entschiedenes Uebergewicht hat. Wie dieses Verhältniss sein muss, lässt sich nicht im Voraus abschätzen, sondern müsste für die einzelnen Ausschnitte, wie oben geschehen, empirisch festgestellt werden.

Für mein rechtes Auge ist eine solche Spaltweite, welche die Bilder nach beiden Richtungen gleich macht, natürlich nicht zu finden, da ja auch bei breitester Oeffnung eine deutliche Umkehrung der Dimensionen nicht stattfindet. Es ist dies eine von den Erscheinungen, welche auf Verschiedenheiten in den Bewegungen beider Augen hindeuten, und sollen dieselben unten im Zusammenhange besprochen werden.

Was das Verhältniss der Bilder zu ihren Abständen betrifft, so ist dasselbe, abgesehen von der Breite der eingestellten Sectoren auch abhängig von der Schnelligkeit der Augenbewegung. Die Bildbreite wird verhältnissmässig immer überwiegen, auch wenn die Grösse der dunkelen und hellen Sectoren die gleiche ist. Um dies zu verstehen, braucht man sich nur zu vergegenwärtigen, wie die Verhältnisse sich gestalten, wenn man bei ruhig gehaltenem Auge zwei leuchtende Objecte in einem gewissen Abstande nach derselben Richtung bewegt. Jedes einzelne derselben macht den Eindruck einer leuchtenden Linie, wodurch je nach der Schnelligkeit der Bewegung, sowie der Lebhaftigkeit und Dauer des Nachbildes, der Abstand sich zu verkleineren, oder ganz zu verschwinden scheint. Ganz dasselbe findet natürlich auch bei unserer Versuchsanordnung statt, wenn das Auge sich bewegt. In dem Augenblicke des Aufleuchtens wird jeder Punkt des Ausschnittes zu einer Linie verlängert, während eine solche Verlängerung für die dunklen Phasen nicht stattfindet. Sollen Bildbreite und Abstände gleich erscheinen, so müssen also die hellen Sectoren wesentlich schmaler sein, als die dunklen. Die Abhängigkeit von der Augenbewegung äussert sich darin, dass Bilder sowohl, wie Abstände sich mit Zunahme der Schnelligkeit verbreitern müssen, da ja der Weg, den das Auge in jeder Phase zurücklegt, um so grösser wird. Doch sind die ersteren dadurch im Vortheil, dass die helleren Sectoren eine Nachwirkung hinterlassen, die dunklen nicht. Theoretisch wird sich demnach für jede Blickrichtung eine Grösse der Sectoren finden müssen, bei welcher Abstände und Bildbreite gleich erscheinen. Praktisch ist eine solche Bestimmung aber recht schwierig, doch lässt sich jedenfalls so viel feststellen, dass nach verschiedenen Richtungen sich Unterschiede zeigen, worauf wir später noch eingehen wollen.

Wir haben bis jetzt nur die horizontale Blickrichtung besprochen, und ist klar, dass sich das Beobachtungsmaterial noch ganz erheblich vermehren liesse, wenn man die Untersuchung auf andere Augenbewegungen ausdehnen wollte. Wenn unsere Erläuterungen richtig sind, lässt sich für jede schon im Voraus sagen, welche Veränderungen zu erwarten sind, und würde es kein besonderes Interesse haben, eine grössere Anzahl solcher Modificationen zu besprechen. Ich will nur noch auf die bei verticaler Blickrichtung auftretenden Erscheinungen in Kürze eingehen, weil diese in Bezug auf das verschiedene Verhalten bei den Bewegungen bemerkenswerthe Eigen-

thümlichkeiten zeigen. Die Spaltbreite war wieder 5°, die Umdrehungsgeschwindigkeit wie oben.

Senkrechter Durchmesser der Scheibe.

Hier werden wir nunmehr die Verschiebungen zu erwarten haben, die früher am horizontalen Durchmesser bestanden.

A. Man sieht eine Reihe von länglich runden Figuren mit Neigung der Spitze nach links beim Blicke nach oben, nach rechts beim Blicke nach unten Figur 29 und 30. Es ist leicht zu erkennen, dass dieselben durch Verschiebung der linken Seite, welche ja in diesem Falle zuerst beleuchtet wird, zu Stande kommen, und zwar bei der ersteren Blickrichtung nach oben, bei der letzteren nach unten.

Dasselbe zeigt *B* der Halbkreis, also wenn Bogen nach rechts für die Blickrichtung nach oben Figur 31, für die nach unten Figur 32. Beim Bogen nach links im ersteren Falle Figur 33, im letzteren Figur 34. Die Vierecke *C*, *D*, *E* zeigen eine rhombische Verschiebung ebenfalls in dem Sinne, dass die linke Seite bei Blick nach oben erhöht, im entgegengesetzten Falle gesenkt ist.

Dies verhält sich natürlich für beide Augen gleich.

Was die Zahl und Abstände der Bilder betrifft, so sieht man hier bei Blick nach oben die erstere entschieden kleiner, die letzteren grösser, als beim Blicke nach unten. Auch die Verschiebung der Figuren selbst ist im ersteren Falle stärker, als im letzteren, wodurch dieselben schmaler und länger erscheinen beim Blicke nach oben, als nach unten. Hierin ist ebenfalls für beide Augen ein Unterschied nicht zu bemerken.

Horizontaler Durchmesser.

Hier fallen die seitlichen Verschiebungen fort, dagegen müssen Unterschiede in den verticalen Dimensionen der Bilder mit der Drehung und gegen die Drehung auftreten. Wir betrachten zunächst die linke Seite der Scheibe.

A. verwandelt sich dementsprechend beim Blicke nach oben in eine liegende Ellipse (Verschmälerung), nach unten in eine stehende (Verbreiterung im verticalen Durchmesser). Dieselben Abplattungen bezw. Verlängerungen zeigen die Figuren *B*, *C*, *D*, *E*.

Die Differenz in der Zahl der Bilder bei beiden Blickrichtungen ist hier sehr deutlich und besonders auch die der Abstände, da ja die grösseren Figuren den kleineren, die kleineren den grösseren

Abständen entsprechen. Beide Augen zeigen dasselbe Verhalten, und sind wesentliche Unterschiede nicht zu bemerken.

Stellt man nunmehr den Schirm auf die rechte Seite der Scheibe, so sollte man jetzt dieselben Bilder erwarten, nur bei entgegengesetzter Augenbewegung, da jetzt die Bewegung nach oben der Drehung entgegen, die nach unten ihr gleich gerichtet ist. Eine Abflachung bezw. Verlängerung findet freilich in dem zu erwartenden Sinne statt, aber in ganz anderem Maasse. So sieht man *A* auf der linken Seite beim Blicke nach oben viel mehr zusammenschnurren, als rechts beim Blicke nach unten. Im ersteren Falle glaubt man oft nur noch einen queren Schlitz von höchstens 2 mm Breite zu sehen, während im letzteren eine noch ziemlich breite Ellipse bestehen bleibt. Am deutlichsten bemerkt man den Unterschied an den Vierecken, zumal dem stehenden Rechtecke. Dies schrumpft beim Blicke nach oben auf der linken Seite bei sehr energischer Blickwendung in einem solchen Maasse zusammen, dass es sich in ein liegendes Rechteck verwandelt, natürlich nicht durch Verbreiterung des horizontalen, sondern nur auf Kosten seines verticalen Durchmessers. Auf der rechten Seite dagegen gelingt es nicht, auch bei kräftigster Bewegung nach unten, das stehende Rechteck zum Quadrate zu verkürzen, geschweige denn die verticale Seite noch kürzer zu sehen als die horizontale. Ebenso möchte man sagen, dass bei dieser Blickrichtung die Abstände der Bilder weniger gross erscheinen, als links beim Blicke nach oben, und zwar auch mit Berücksichtigung der grösseren verticalen Durchmesser im ersteren Falle. Der Versuch fällt für jedes Auge im wesentlichen gleich aus, man bemerkt also immer den beschriebenen Unterschied für die Blickwendung nach oben bezw. unten auf der linken bezw. rechten Seite der Scheibe, gleichgültig, ob man sich des rechten oder linken Auges bedient. Ich bemerke noch, dass, mit demselben Maassstabe gemessen, die Bewegung nach oben anscheinend mit der nämlichen Energie erfolgt, wie die Innenwendung des rechten Auges, denn bei dieser erhält man am verticalen Durchmesser ähnliche Bilder für das liegende Rechteck nach Wendung der Scheibe.

Nach dem Gesagten muss man erwarten, dass auch die Verlängerung der Figuren bei den entsprechenden Bewegungen auf beiden Seiten sich verschieden verhält. Thatsächlich ist der Unterschied ganz unverkennbar, und tritt derselbe namentlich an den Vierecken wieder deutlich hervor, indem rechts beim Blicke nach oben die

verticalen Dimensionen viel länger erscheinen als links beim Blicke nach unten (entgegen der Drehung). So lässt sich im ersteren Falle Figur D ohne sonderliche Anstrengung in ein Quadrat verwandeln, während im zweiten die horizontale Seite dieser Figur immer länger bleibt als die verticale.

Aus diesen Beobachtungen lassen sich auch alle Veränderungen ableiten, welche für die Diagonalstellungen bei verticaler Richtung der Augenbewegung zu erwarten sind, und will ich dieselben daher nicht noch im Einzelnen durchsprechen. Es ist stets eine Vermischung der beschriebenen Erscheinungen, wie sie sich theoretisch leicht construiren lässt. Auch der Unterschied für die Blickrichtung nach oben und unten, der am horizontalen Durchmesser beschrieben ist, tritt trotz der schrägeren Richtung der Drehung in den Diagonalstellungen deutlich hervor. Die Verschmälerung ist zwar absolut geringer, als im horizontalen Durchmesser, aber beim Blicke nach oben auf der linken Seite viel deutlicher, als nach unten auf der rechten; die Verbreiterung verhält sich umgekehrt.

Im Vorstehenden sind mehrfach Beobachtungen erwähnt, welche auf Verschiedenheiten in der Schnelligkeit der Augenbewegungen hindeuten, und sollen dieselben, da sie auch in praktischer Hinsicht ein interessantes Ergebniss versprechen, nunmehr im Zusammenhange erörtert werden. In unseren Versuchen muss sich die grössere Schnelligkeit der Bewegung im Allgemeinen dadurch äussern, dass die der Bewegungsrichtung entsprechenden Durchmesser der einzelnen Figuren länger und ihre Abstände von einander grösser werden. Dabei muss das Verhältniss der Bewegungsrichtung der Augen zu der Drehungsrichtung der Scheibe selbstverständlich das gleiche bleiben, und würde es nicht gestattet sein auf eine Verschiedenheit in der Schnelligkeit der Augenbewegungen zu schliessen, weil z. B. bei Blickrichtung entgegen der Drehung die Figuren breiter werden als mit derselben.

Als ich, nachdem die geschilderten Versuchsergebnisse im Wesentlichen festgestellt waren, die Literatur auf einschlägige Beobachtungen durchsuchte, fand ich, dass Lamansky[1]) bereits die Zahl der unter ähnlichen Verhältnissen auftretenden Nachbilder zu einer directen Messung der Winkelgeschwindigkeit der Augenbewegung benutzt hatte. Seine Versuchsanordnung war folgende: Eine, mit einer be-

1) Pflüger's Archiv Bd. 2.

stimmten Anzahl von schmalen Schlitzen versehene Scheibe wurde in gleichmässige Rotation versetzt. Hinter derselben befand sich eine Petroleumlampe, und wurde das Licht derselben durch einen Glasspiegel von unten auf die Scheibe abgelenkt und mittelst eines Prismas in die Blickrichtung gebracht. In dem letzteren erschien also jedes Mal, wenn ein Schlitz der Scheibe sich einstellte, ein kleines Flammenbildchen, und um dieses schärfer und kleiner zu machen, wurde vor der Lampe ein Schirm mit schmalem Spalte und zwischen Lampe und Spiegel ein System von Linsen aufgestellt. Auf diese Weise entstanden kleine und scharf begrenzte Nachbilder. Vor dem Auge stand ein Schirm mit zwei Marken, welche als Grenzpunkte der Blickbewegung dienen sollten. Indem der Beobachter von der einen zur anderen hinblickte, zählte er die Nachbilder. Aus der bekannten Umdrehungszeit der Pappscheibe und der Anzahl der Schlitze lässt sich die Zeit, innerhalb welcher die Lichtreize auf einander folgen, berechnen. Die Umdrehungszeit der Scheibe war 0,1144″, die Zahl der Schlitze = 24, also die Zeit zwischen zwei Lichtreizen = 0,00477″. Alsdann ist die Winkelgeschwindigkeit $v = \frac{\varphi}{t\,n}$, wenn φ den Blickwinkel bedeutet, t die Zeit zwischen zwei Lichtreizen und n die Zahl der Nachbilder. Lamansky gibt an, dass bei diesen Versuchen sich sehr zuverlässige Resultate zeigten, was jedenfalls eine nicht geringe Uebung voraussetzt, da man seine Aufmerksamkeit sowohl auf die Zahl der Nachbilder, als auch auf die beiden Marken richten muss, damit die Bewegung sich innerhalb der beabsichtigten Grenzen hält. Er fand die Geschwindigkeit in horizontaler Richtung etwas grösser als in verticaler, in schräger Richtung war sie am langsamsten, ausserdem bei kleinen Excursionen verhältnissmässig langsamer, als bei grossen, so dass also eine gewisse Zeit erforderlich schien, bis die Muskelcontraction ihre volle Energie erreichte. Unterschiede für Innen- und Aussenwendung, Hebung und Senkung sind nicht angegeben. Dem gegenüber konnten wir bei unserer Versuchsanordnung Unterschiede in dem Verhalten der Nachbilder feststellen, welche in mehrfacher Hinsicht auf Verschiedenheiten in der Schnelligkeit der Augenbewegungen hindeuten.

Betrachten wir zunächst die hierher gehörigen Erscheinungen, welche bei horizontaler Blickrichtung bemerkt wurden. Dass der innere Rectus kräftiger und leistungsfähiger ist als der äussere,

wissen wir u. A. durch die Prismenversuche. Diese verschiedene Leistungsfähigkeit thut sich nun auch durch die Schnelligkeit kund, mit welcher die Innenwendung gegenüber der Aussenwendung ausgeführt wird, besonders wenn wir die conjugirten Muskelpaare betrachten. Die Contraction des rechten internus ist schneller als die des linken externus, und umgekehrt, doch treten auch an jedem Auge, zumal dem linken, Unterschiede hervor, deren wir uns sonst gar nicht bewusst werden, und die auch durch die grösste Anstrengung des externus nicht ausgeglichen werden können. Dies zeigt sich

1. am verticalen Durchmesser der Scheibe in den auf Seite 614 geschilderten Versuchen. Bei Blickwendung nach links des linken Auges waren die Figuren entschieden zahlreicher als beim Blicke nach rechts und ihre Abstände geringer. Im ersten Falle war also, während das Auge dieselbe Strecke (von ca. 80°) durchlief, der Wechsel von Hell und Dunkel viel häufiger als im zweiten. Diese Unterschiede sind, ebenso wie diejenigen in der Breite der Figuren, nicht lediglich auf den Umstand zurückzuführen, dass das eine Mal die Bewegung der Drehung entgegen, das andere Mal derselben gleich gerichtet war. Es beweist dies der analoge Versuch nach Umwendung der Scheibe. Alsdann müsste nunmehr bei Rechtswendung des Auges sich dasselbe zeigen, wie vorher bei Linkswendung und umgekehrt. Statt dessen sehen wir jetzt bei Innenwendung die Bilder viel breiter als vorher bei Aussenwendung, desgleichen die Abstände, was nicht wohl anders zu erklären ist, als dass die Schnelligkeit der letzteren Bewegung geringer ist als die der ersteren. Auf dem rechten Auge zeigt die Innenwendung aber nicht in demselben Maasse ein Uebergewicht über die Aussenwendung; wir sahen vielmehr, dass häufig ein Unterschied nicht zu bemerken, oder dass man sogar im Zweifel sein kann, ob sich die Sache nicht umgekehrt verhält. Aehnliches fanden wir auch bei breitem Spalte. Jedenfalls ist aber die Innenwendung des rechten Auges immerhin schneller als die Aussenwendung des linken, wie der Unterschied in der Figurenbreite an jedem Durchmesser bei den entsprechenden Bewegungen beweist (S. 614). Demnach muss man annehmen, dass die Geschwindigkeit der Contraction des linken internus die grösste ist, dass aber auch der rechte internus den ihm conjugirten externus des anderen Auges in dieser Hinsicht übertrifft, dagegen dem desselben Auges ziemlich gleich ist. Es liegt nahe, hierbei die Muskeln nicht für sich, sondern als conjugirte Muskelpaare zu betrachten, und

da finden wir, dass dasjenige, welches die Ablenkung nach rechts ausführt, dem anderen überlegen ist, denn der linke internus ist dies gegenüber dem rechten und der rechte externus gegenüber dem linken. In Anbetracht, dass die Innervation für jede Richtung von der entgegengesetzten Hemisphäre ausgeht, könnte man daran denken, dass dieselbe von der linken Hirnhälfte aus in Analogie der auch sonst vorhandenen Bevorzugung der rechten Körperhälfte überhaupt energischer erfolgt.

Abgesehen von dieser Ueberlegenheit des nach rechts wirkenden Muskelpaares fanden wir, dass jeder internus sich schneller contrahirt als der conjugirte externus. Dieser Unterschied ist längst als ein physiologisches Postulat anerkannt, wenn auch der experimentelle Beweis hierfür meines Wissens bisher nicht erbracht ist. Der Grund für diese Voraussetzung liegt in der Thatsache, dass die Excursionen des Auges nach innen ausgiebiger sind als die nach aussen, wie von allen Beobachtern übereinstimmend angegeben wird (Heering, Volkmann, Donders u. A.). Wenn also von der Primärstellung aus z. B. die äusserste Blickwendung nach rechts erfolgt, so durchläuft der linke Bulbus eine längere Bahn als der rechte. Dasselbe gilt natürlich mut. mut. für die Wendung nach links. Ein Unterschied in der Geschwindigkeit kann selbstverständlich nur hervortreten, solange kein gemeinschaftliches Fixirobject für beide Augen vorhanden ist, da bekanntlich bei normalem binoculärem Sehacte die Blicklinie beider Augen innerhalb des ganzen Blickfeldes stets auf denselben Punkt gerichtet ist. Bei gemeinschaftlichem Gebrauche beider Augen muss daher die Bewegung vollkommen gleichmässig sein, wenn das Object unter Beibehaltung seines Abstandes sich in einer durch beide Blicklinien gelegten horizontalen Ebene bewegt. Unterschiede können daher nur in dem nicht gemeinschaftlichen Theile des Blickfeldes hervortreten oder bei Prüfung jedes einzelnen Auges für sich, namentlich, wenn dasselbe, wie in den obigen Versuchen, die verfügbare Strecke so schnell als möglich zurückzulegen sucht. Hier ist das Interesse des Einfachsehens nicht vorhanden, und jedes Auge kann dem mehr oder weniger starken Bewegungsimpulse ohne Hemmung folgen. Es ist daher erklärlich, dass bei einer solchen Untersuchung jedes einzelnen Auges die grössere Geschwindigkeit, welche der längeren Bahn entspricht, sich bemerkbar macht. Dies schliesst selbstverständlich nicht aus, dass, wenn an irgend einem Punkte der Strecke die Bewegung gehemmt wird, beide Augen sich

sofort wieder richtig auf einen fixirten Punkt einstellen, so dass man auch bei Freigabe des verdeckten Auges eine Einstellungsbewegung nicht bemerkt (Graefe).

Eine Beobachtung in unseren Versuchen scheint übrigens dafür zu sprechen, dass gerade gegen Ende der Bahn, wo stets durch den Nasenrücken das binoculäre Sehen aufgehoben ist, die Bewegung des nach aussen gewandten, also die kleinere Excursion ausführenden Auges sich verlangsamt. Ich meine das Schmalerwerden der Bilder am letzten Ende der Reihe, welches bei Aussenwendung hervortrat und darauf hindeutet, dass gerade am Ende der Strecke die Bewegung sich verlangsamt. Graefe[1]) sagt über diesen Gegenstand Folgendes: „Entweder, so müssen wir schliessen, werden beide Bewegungsgrenzen nicht in denselben Zeitmomenten erreicht, sondern die der Adduction etwas später als die der Abduction, oder es vollzieht sich die Adduction mit einem etwas grösseren Geschwindigkeitsmomente als die Abduction. Dass letzteres wenigstens so lange nicht der Fall ist, als das die associirte Bewegung etwa bestimmende, sehr entfernt liegende Gesichtsobject (der Hering'sche Blickpunkt) in dem beiden Augen gemeinsamen Theile des Gesichtsfeldes sich befinden würde, liegt auf der Hand. Ob nun die übrig bleibenden Bewegungsstrecken, innerhalb derer nur das in Abductionsdrehung befindliche Auge noch central fixirt, während der Blickpunkt des anderen bereits auf dem Nasenrücken liegt, wirklich mit verschiedenen Geschwindigkeitsmomenten zurückgelegt, oder ob die bezüglichen Grenzstellungen in verschiedenen Zeitmomenten erreicht werden, das ist bisher noch unerledigt geblieben." Vielleicht könnten also unsere Versuche wenigstens einen Beitrag zur Lösung der Frage liefern.

Was die Abstände betrifft, so treten deren Unterschiede deutlicher hervor bei den Versuchen, wo die Breite der Figuren nach beiden Richtungen weniger verschieden ist. Immerhin sehen wir aber auch am verticalen Durchmesser die Abstände bei Rechtswendung mit dem linken Auge grösser als dem rechten und bei Linkswendung umgekehrt, besonders auffällig an den breiten Bildern des Kreises (siehe S. 617).

2. Am horizontalen Durchmesser ist der Einfluss der Drehungsrichtung ausgeschaltet, und sind daher die dem Bewegungsunterschiede der Augen zufallenden Differenzen um so besser zu studiren.

---

1) Graefe-Saemisch Bd. 6 S. 11.

Der Unterschied der Breite ist hier bei beiden Richtungen weniger auffällig; am meisten links, doch entspricht, wie wir sahen (S. 618) das anscheinend schmälere Bild der schnelleren Bewegung nach innen, weil der Eindruck durch die hierbei stattfindende stärkere Neigung bestimmt wird. Zahl und Abstände dagegen verhalten sich wie früher, erstere bei Aussenwendung jedes Auges, zumal des linken, grösser, letztere kleiner (S. 615).

Die analogen Verhältnisse für die Diagonalstellungen bedürfen keiner näheren Ausführung und wird auf Seite 620 u. ff. verwiesen.

3. Durch den Unterschied in der Schnelligkeit der Bewegung ist auch der oben ausgeführte Umstand zu erklären, dass bei breiterem Spalte die Dimensionen der Figuren am verticalen Durchmesser nicht dieselben Differenzen zeigen wie bei schmalem und sich für beide Augen verschieden verhalten. Der schmale Spalt ist nicht breiter als die Figuren selbst, ja sogar im Vergleiche zum Kreise sehr viel weniger breit. In Folge dessen ist die Zeit der Aufhellung eine sehr kurze und dem Auge während derselben nicht möglich, eine ausgiebigere Bewegung auszuführen. Dies ändert sich bei breitem Spalte, da hier während der längeren Dauer der Beleuchtung eine grössere Bewegung ausgeführt wird, und somit der Unterschied in der Energie der Muskelcontraction sich wieder geltend machen kann. In Folge dessen erscheinen die Bilder für das linke Auge bei Innenwendung entschieden breiter als bei Aussenwendung, während dies für das rechte nach dem Gesagten nicht zu erwarten ist (S. 629). Am horizontalen Durchmesser muss sich dasselbe zeigen (S. 630).

4. Wenn die Drehung verlangsamt und in Folge dessen am horizontalen Durchmesser die Neigung verstärkt wird, so sehen wir, je mehr sie zunimmt, dass diese Zunahme bei verschiedenen Blickwendungen ungleich ist. Bei Innenwendung, insbesondere wieder des linken Auges, ist sie grösser als bei Aussenwendung (S. 627). Es erklärt sich dies ebenfalls aus der verschiedenen Schnelligkeit der Bewegung, denn die Neigung wird um so stärker ausfallen, je ausgiebiger die Bewegung ist, welche das Auge in der Zeit zwischen Erhellung des oberen und des unteren Abschnittes der Figur ausgeführt hat.

5. Ebenso wie für die horizontale Bewegung treten nun auch für die verticale deutliche Unterschiede hervor. Die Leistungsfähigkeit der Höhenrecti zeigt bei der Untersuchung mit Prismen keine wesentlichen Unterschiede, da durch verticale Fusion nur ein Prisma

von wenigen Graden überwunden werden kann, gleichgültig ob man dasselbe mit der Basis nach oben oder nach unten hält. Bei intermittirender Erregung sehen wir nun

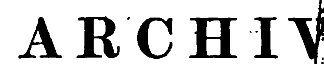
a. am verticalen Durchmesser die Verschiebung der linken Seite beim Blicke nach oben stärker als beim Blicke nach unten, wodurch im ersteren Falle eine Verschmälerung und Verlängerung der Bilder entsteht. Die Abstände sind im ersten Falle grösser, die Zahl der Bilder kleiner. Figur 29 und 30.

b. Am horizontalen Durchmesser erscheinen die Bilder auf der linken Seite beim Blicke nach oben bedeutend schmäler als auf der rechten beim Blicke nach unten, die Verlängerung mut. mut. grösser bei Auf- als bei Abwärtsdrehung.

Es bleibt natürlich vorläufig dahin gestellt, ob die erläuterten Unterschiede in der Augenbewegung sich allgemein finden oder nur als eine individuelle Eigenthümlichkeit anzusehen sind. Die Anstellung solcher Versuche erfordert, ausser einer gewissen Schulung, auch einen nicht unbeträchtlichen Aufwand an Zeit und Geduld, und ist es daher nicht so leicht, dieselben auf ein grösseres Beobachtungsmaterial auszudehnen. Lamansky fand, wie gesagt, solche Unterschiede nicht. Die Umdrehungsgeschwindigkeit seiner Scheibe war viel langsamer als die der meinigen, nämlich ca. 1/10 Secunde, während sie bei mir fast das doppelte betrug. Daraus erklärt sich auch die geringe Zahl der Nachbilder, welche er fand; dieselben schwanken nämlich zwischen 2,1 und 6,4 bei einer Blickwendung zwischen 7° und 32°. In meinen Versuchen war die Zahl der Nachbilder erheblich grösser, und würde ich mir nicht getrauen, dieselbe mit Sicherheit anzugeben. Man könnte sie freilich verkleinern durch eine geringere Ausdehnung von φ (s. o.), doch werden alsdann auch die Unterschiede natürlich um so weniger hervortreten.

Es ergibt sich aber aus den Consequenzen der geschilderten Versuche noch eine andere Möglichkeit, die Schnelligkeit der Augenbewegung zu messen, welche eine grössere Genauigkeit in Aussicht stellt. Da ich mit Untersuchungen hierüber noch beschäftigt bin und dieselben zur Zeit nicht abgeschlossen habe, gedenke ich darüber bei einer anderen Gelegenheit zu berichten.

Pierer'sche Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.



ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

Dr. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

EINUNDSIEBZIGSTER BAND.

ERSTES UND ZWEITES HEFT.

Es erscheinen im Jahre 2–3 Bände à 12 Hefte.
Preis pro Band: ℳ 26.– ₰.

Emil Strauss, Bonn. Poppelsdorfer-Allee 26.



Ausgegeben am 16. März 1898.

Inhalt.

Die Herren Mitarbeiter

erhalten pro Druckbogen 30 M. Honorar
und 40 Sonderabzüge gratis.

Zusendungen für die Redaction sind, um Verwechselungen zu vermeiden, zu adressiren:

Herrn Professor Dr. E. Pflüger,
Bonn, **Nussallee 172.**

Pierer'sche Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.